



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

ESTUDI MORFODINÀMIC DE L'EVOLUCIÓ HISTÒRICA DEL TRAM BAIX DEL RIU LLOBREGAT

Treball realitzat per:

Arnau Prats i Puntí

Dirigit per:

Juan Pedro Martín Vide

Carles Ferrer i Boix

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, 28 de setembre de 2018

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Agraïments

Vull agrair a en Juan Pedro Martín Vide i en Carles Ferrer i Boix, els tutors d'aquest treball, per l'enorme dedicació que han tingut. Consells, indicacions, coneixements, hores fora la universitat per les visites al riu. Però sobretot recordaré les moltes converses agradables i enriquidores que hem tingut. Ha estat un plaer poder tancar aquesta etapa a l'escola estudiant respecte el tema que em va fer decidir escollir aquest camí ja fa set anys.

També vull donar les gràcies a totes aquelles persones que d'una manera o una altra han col·laborat a enriquir el contingut d'aquest treball . A l'Enric Queralt per posar-me a disposició el fons fotogràfic de la CUADLL, el mossèn de la parròquia de Sant Boi per permetre'ns pujar al campanar, i al personal de l'Arxiu Nacional de Catalunya per la professionalitat i l'amabilitat en el tracte rebut.

Gràcies a l'Eladio per ensenyar-me tot el que m'ha calgut de GIS i la paciència que ha tingut. Gràcies a en Jan, en David i en Gerard pels consells i dubtes resolts per l'elaboració d'aquest document.

Per últim vull donar les gràcies a la família i amics perquè sempre han ajudat amb tot el que ha calgut.

Resum

El curs baix del riu Llobregat ha patit un conjunt de canvis molt importants des de principis del s.XX que han modificat la seva morfologia. Mitjançant l'estudi de diferents documents històrics s'ha determinat que en el passat el Llobregat tenia grans planes d'inundació i que la seva llera era ample, sinuosa, trenada i amb grans dipòsits al·luvials. Actualment, degut a actuacions humanes, el riu és un canal trapezoïdal recte, més profund i amb un 60% menys de material al·luvial disponible. A més a més, s'han construït embassaments a la conca que han reduït més d'un 20% el cabal de les crescudes del riu al tram baix. També s'ha produït un increment de la massa forestal i de les zones urbanes que causa una disminució de l'aportació de sediments al riu. Tots aquests canvis han provocat una disminució del transport de fons del riu que s'ha manifestat en una regressió del delta. L'anàlisi dels resultats obtinguts suggereix que en el futur es produirà una erosió general de la llera degut a la disminució de la disponibilitat de material susceptible de ser transportat. En canvi, a la nova desembocadura es seguirà dipositant sediment degut a que la seva secció transversal és excessivament ample.

Abstract

The lower course of the Llobregat River has suffered several important changes that have modified its morphology since the beginning of the 20th century. Through the study of different historic documents it has been determined that, in the past, Llobregat River had great floodplains and a wide, sinuous, braided riverbed with great alluvial deposits. Nowadays, due to the anthropic activities, the river is a trapezoidal straight channel, deeper than in the past and with 60% less alluvial material available. Additionally, the construction of dams in the river basin has reduced in 20% the discharge of river swellings in the lower course, and the growth of forest and urban areas has led to a reduction in the sediment contribution to the river. All these changes have caused a reduction in the bed sediment transport of the river, which has led to a regression of the delta. The analysis of the obtained results suggests that there will be a general erosion of the riverbed in the future due to the reduction in the availability of transportable material. However, in the new river mouth sedimentation will persist due to the excessive width of its transversal section.

Índex

1	Introducció i Objectius	6
2	Caracterització de la conca del Llobregat	9
2.1	Curs	9
2.2	Cabal	12
2.3	Embassaments	14
3	Àmbit d'estudi	16
4	Conceptes sobre morfodinàmica fluvial	19
5	Estudi històric	22
5.1	Documentació consultada i fonts d'informació	23
5.2	Descripció de l'evolució històrica del curs baix del Llobregat i el seu delta	23
5.3	Fotografies aèries històriques	28
5.3.1	Moviments en planta del riu Llobregat	28
5.3.2	Evolució de la línia de la costa del Delta	35
6	Canvis en les variables que afecten la morfodinàmica del riu	37
6.1	Canvis a la llera	37
6.1.1	Disponibilitat de material al·luvial a la llera	37
6.1.1.1	Amplada al·luvial de la llera	40
6.1.1.2	Superfície de material al·luvial de la llera	42
6.1.2	Seccions transversals	43
6.1.3	Extraccions d'àrids	47
6.2	Canvis a la conca	50
6.2.1	Efecte dels embassaments	50
6.2.1.1	Retenció de sediments	50

6.2.1.2	Regulació de cabals. Obtenció d'una corba de cabals classificats modificada	52
6.2.2	Usos del sòl	59
7	Canvis en la capacitat de transport sòlid de fons	66
7.1	Metodologia i hipòtesis	66
7.2	Informació necessària pel càlcul del transport de fons	68
7.3	Resultats	70
7.4	Reflexió sobre els resultats obtinguts	73
8	Conclusions	76
	References	79
	Referències	79

Capítol 1

Introducció i Objectius

Molts rius al·luvials han experimentat sobretot a partir del s.XX grans canvis morfològics provocats per activitats humanes a la seva llera i la seva conca. Han patit modificacions en l'amplada i profunditat de la seva llera, tall de meandres, construcció de rescloses i embassaments, grans extraccions de material al·luvial i captacions de grans quantitat del seu cabal entre d'altres. En alguns casos aquests canvis han estat tan importants que el caràcter del riu ha canviat completament provocant greus impactes negatius en tot l'ecosistema. En les darreres dècades però, gràcies a una consciència mediambiental cada cop més habitual, sembla que està començant a canviar la percepció que es tenia dels rius de simples canals per on circula l'aigua i s'estan prenent mesures per intentar revertir els impactes i que el riu recuperi part del seu comportament original.

El Llobregat és un d'aquests rius que ha patit grans canvis al llarg de tota la seva conca. Especialment el seu curs baix i el delta són els trams on aquests canvis han estat més importants i on el riu ha sofert més impactes. Les seves planes d'inundació naturals han desaparegut ja que estan ocupades per grans infraestructures viàries i ferroviàries. La seva llera també ha patit grans transformacions ja que per augmentar la capacitat hidràulica del riu i minimitzar els riscos d'inundació de l'entorn s'han fet endegaments que han convertit el riu en un canal trapezoïdal recte i profund i s'han substituït les planes d'inundació per petites terrasses. A la seva conca l'impacte principal ha estat la construcció de tres embassaments situats al seu curs alt.



Figura 1.1: Comparativa del riu Llobregat des del campanar de l'església de Sant Boi de Llobregat mirant al Nord. La imatge superior és del fons històric de l'arxiu municipal.

Tots aquests canvis han provocat que la morfologia del Llobregat i el seu transport de sediments siguin molt diferents dels que tenia el riu en el seu estat natural fa menys d'un segle. Entre d'altres impactes aquests canvis poden afectar negativament l'evolució del delta, que és precisament el resultat dels sediments que el riu ha anat transportant fins la costa al llarg de mil·lers d'anys. És evident que si s'ha reduït significativament la quantitat de sediments que el riu transporta fins la costa, el mar guanyarà la partida i

la línia de la costa retrocedirà.

La motivació principal de realitzar aquest treball és un estudi [19] de l'any 2011 realitzat pels tutors d'aquest treball que tracta l'evolució de la dinàmica del Llobregat entre la confluència amb la riera de Rubí i Sant Boi. En aquest estudi es fa una recerca d'informació per conèixer l'evolució del riu fins a l'actualitat i s'obtenen resultats de l'evolució morfodinàmica del riu i del seu transport sòlid. Degut a que els resultats es van considerar interessants i originals, s'ha decidit ampliar l'àmbit d'aquell treball i la recerca d'informació, per tal d'identificar d'altres factors que hagin pogut afectar la morfodinàmica i els canvis en el transport de fons del Llobregat.

Objectius i estructura del treball

Els objectius principals d'aquest treball són dos: realitzar una recerca exhaustiva d'informació per conèixer l'evolució històrica del tram del riu Llobregat aigües avall de Martorell, i determinar de quina manera han afectat la morfologia del riu els canvis que s'hagin detectat. Per tal de fer una recerca històrica adequada s'han d'utilitzar com més fonts diferents millor. S'han d'utilitzar fotografies aèries històriques, projectes antics, bibliografia, fons fotogràfics, arxius municipals i informació topogràfica. L'estudi dels efectes dels canvis que s'han produït en el riu també ha de servir per poder fer una diagnosi de l'estat actual del riu, proposar mesures correctores si són possibles, i ser capaços de predir l'evolució en un futur pròxim.

Els continguts d'aquest treball s'organitzen de la següent manera. Primer, al Capítol 2 es fa una descripció dels aspectes principals del riu Llobregat i la seva conca. Al Capítol 3 es situa l'àmbit d'estudi. Al Capítol 4 es descriuen breument els conceptes més rellevants de la morfodinàmica fluvial. El Capítol 5 explica les fonts d'informació que s'han utilitzat per l'estudi històric i es fa una descripció de l'evolució històrica del curs baix del Llobregat i del delta. El Capítol 6 tracta com s'han modificat les variables que determinen la morfologia del Llobregat i quines conseqüències poden haver provocat cadascuna. El Capítol 7 utilitza els resultat del capítol previ per calcular l'evolució de la capacitat de transport de fons del riu. Finalment, es presenten les conclusions d'aquest treball al Capítol 8.

Capítol 2

Caracterització de la conca del Llobregat

2.1 Curs

El riu Llobregat té una longitud de 170 km, desemboca al mar Mediterrani i drena una conca de 4920 km². Administrativament la totalitat de la seva conca pertany a Catalunya, i juntament amb el riu Ter, és el riu més important de les conques internes de Catalunya.

Neix a les muntanyes del Prepirineu, concretament a una altitud de 1295 m sobre el nivell del mar a les famoses fonts del Llobregat, ubicades al municipi de Castellar de n'Hug (comarca del Berguedà). Inicialment el seu curs pren una direcció Sud-oest fins al municipi de Guardiola de Berguedà, on rep pel marge dret el seu primer affluent important, el Bastareny. A partir d'aquest punt gira a direcció Sud, que mantindrà fins a la desembocadura. Aigües avall de Guardiola rep pel marge dret també l'aportació de les aigües del riu de Saldes, el qual neix al massís del Pedraforca. Pocs quilòmetres més endavant el riu arriba a l'embassament de la Baells. Amb una capacitat de 109 hm³ aquest embassament reté les aigües del riu des de l'any 1975.

Passat l'embassament, i ja en el curs mitjà del riu, el Llobregat discorre per un terreny menys abrupte entre les comarques del Berguedà i el Bages. En aquesta zona el riu és obstaculitzat per ininterrompudes rescloses que deriven l'aigua per petits salts hidroelèctrics, les antigues colònies tèxtils i per alimentar la històrica séquia de Manresa (en funcionament des del s.XIV i amb capacitat per transportar fins a 1 m³/s). En aquest tram rep pel marge esquerre les aigües de la riera de Merlès i la Gavarresa que drenen l'àrea del Lluçanès, i de la riera de Calders, que prové del Moianès. Just abans d'entrar

al congost de Montserrat, a l'altura de Sant Vicenç de Castellet, es troba la confluència del Llobregat amb el Cardener. El riu Cardener és el principal afluent del Llobregat. Neix al massís Prepirinenc del Port del Compte, a la comarca del Solsonès, i recull les aigües de l'Est del Solsonès i l'Oest de Bages. Pocs quilòmetres aigües avall del seu pas per Manresa desemboca al Llobregat.

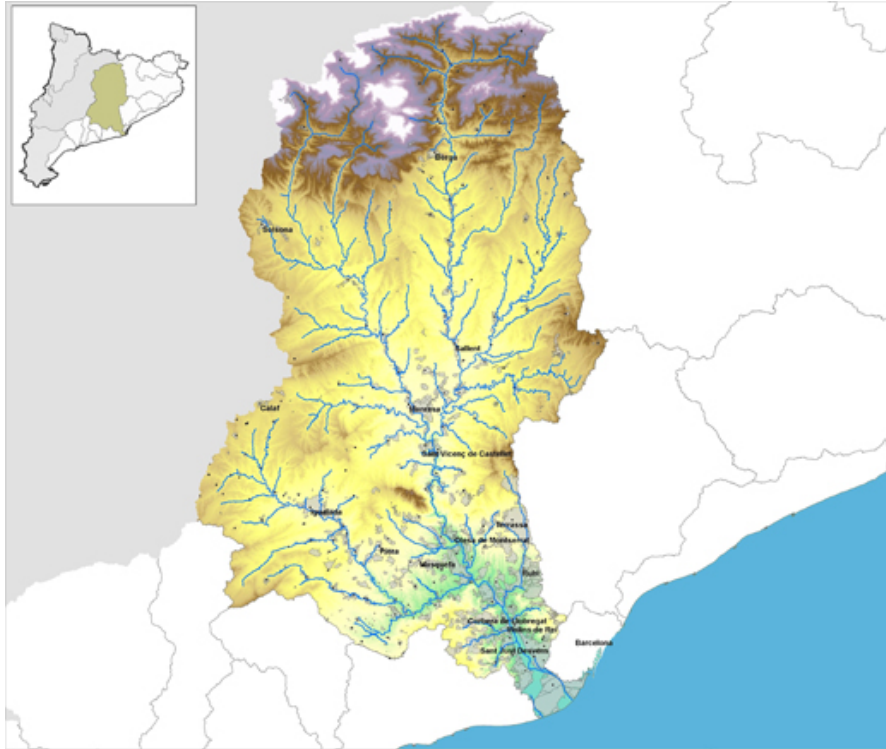


Figura 2.1: Conca del Llobregat. Font: ACA

Ja més cabalós amb les aigües del Cardener, i després de travessar de Nord a Sud el Pla de Bages, el riu entra de nou a una zona més abrupte degut a que cal travessar la serralada Prelitoral. Són una desena de quilòmetres, límit entre les comarques del Bages i el Baix Llobregat, en què el curs del riu té més pendent i està encaixonat entre els massissos de Montserrat (marge dret) i de Sant Llorenç del Munt i l'Obac (marge esquerre). Seguidament el Llobregat passa per la Cubeta d'Abrera, una plana delimitada pel Nord i pel Sud per la serralada Prelitoral i Litoral respectivament. En aquesta zona més planera es troben gairebé seguides dues estacions potabilitzadores d'aigua (ETAP) que capten l'aigua del riu: l'ETAP de Terrassa (capacitat $1m^3/s$) i l'ETAP d'Abrera (capacitat $3,5m^3/s$). Just al tram final de la cubeta i abans del pas pel congost de

Martorell el Llobregat rep pel seu marge dret les aigües del riu Anoia. El riu Anoia drena la major part de la comarca de l'Anoia i el sector Nord de l'Alt Penedès.

Passat el curt congost de Martorell, on es troba el pont del Diable (s. XIII), el Llobregat inicia el seu curs baix. D'aigües amunt a aigües avall, el riu travessa la cubeta de Sant Andreu, rep pel marge esquerre la riera de Rubí i entra a la Vall Baixa. Al tram final de la Vall Baixa just abans d'entrar al delta, hi ha la captació de l'ETAP de Sant Joan Despí (capacitat $5,5m^3/s$). Passat Sant Boi de Llobregat el riu entra al delta del Llobregat. És un terreny pla i fèrtil situat entre Castelldefels i Montjuïc, guanyat al mar gràcies als sediments que el riu ha anat transportant al llarg de centenars d'anys. Finalment el Llobregat desemboca al Mediterrani just al Sud del Port de Barcelona, al terme municipal del Prat de Llobregat.

Taula 2.1: Superfície de la conca del Llobregat i dels seus principals afluents.

	Superfície (km^2)
Llobregat (amunt la Baells)	505
Cardener (amunt Sant Ponç)	307
Cardener (tram mig)	1,105
Total Cardener	1,413
Riera de Merlès	172
Gavarresa	452
Riera de Calders	176
Anoia	904
Riera de Rubí	124
Total conca Llobregat	4,925

2.2 Cabal

El cabal del Llobregat té la característica principal dels rius mediterranis: irregularitat. L'alternança de períodes secs amb cabals baixos i de fortes crescudes sobtades és una constant que s'ha anat repetint al llarg de la història i que se'n té constància des de segles enrere. Des de la segona meitat del s.XX part de la conca del Llobregat està regulada per embassaments que modifiquen el règim hidrològic del riu. Per tant, els cabals mesurats en les estacions d'aforament des dels anys posteriors a la construcció dels embassaments i fins avui en dia no representen el règim natural del riu. En l'apartat 6.2.1.2 es modifiquen les dades de cabals del Llobregat existents per intentar conèixer com serien sense l'existència d'embassaments a la conca.

Cabal mitjà i crescudes ordinàries

Tot i que la capçalera del Llobregat és a l'àrea Pirinenca amb pics que superen els 2500 m d'alçada, la neu no té gaire influència en el cabal del riu, i s'acostuma a classificar com un riu de règim estrictament pluvial. Llavors els mesos en què el riu de mitjana té un cabal més alt coincideixen amb els dos períodes més plujosos del clima mediterrani: la primavera i la tardor.

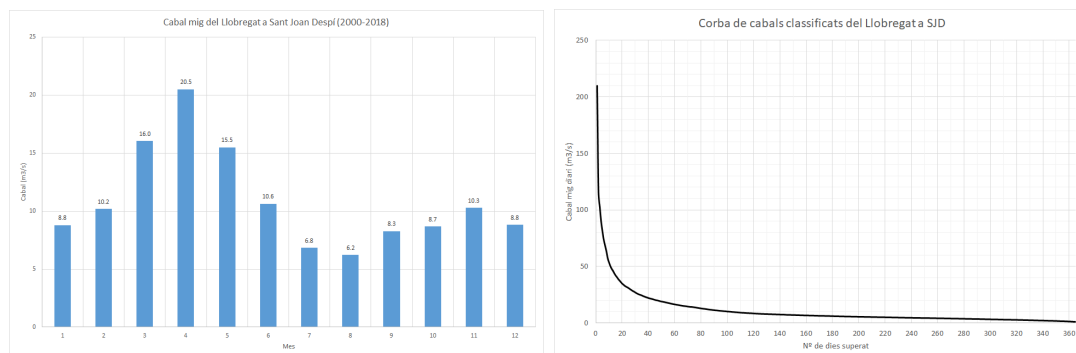


Figura 2.2: Cabals mitjos mensuals (esquerra) i corba de cabals classificats (dreta) del Llobregat a l'estació d'aforament de Sant Joan Despí (curs baix). Dades del període 2000-2018. Elaboració pròpia a partir de dades de l'ACA.

Al llarg d'un any els cabals del riu tindran alts i baixos respecte les mitjanes mensuals en funció dels episodis de precipitació. Una bona manera de conèixer quins són els cabals esperables d'un riu al llarg d'un any és mitjançant la corba de cabals classificats. Pel Llobregat s'ha elaborat una corba de cabals classificats a partir de les dades de cabal mig diari de l'ACA de l'estació de Sant Joan Despí. El Q_1 (cabal mig diari que de mitjana es produeix un dia l'any) resultant és de $210\text{m}^3/\text{s}$, i de mitjana 11 dies l'any

tenen un cabal mig superior a $50m^{3/s}$

Avingudes extraordinàries

Per avingudes extraordinàries s'entén aquelles crescudes del riu que no es produeixen en intervals de freqüència anuals sinó plurianuals, i que s'utilitza el concepte de període de retorn (T) per catalogar-les. Aquestes grans crescudes tot i ser poc freqüents són importants des del punt de vista de la morfologia fluvial ja que poden provocar importants canvis a la llera.

El fet que el Llobregat tingui una conca d'una superfície relativament petita amb un temps de concentració pròxim a les 24 hores, i juntament amb les intenses i abundants precipitacions típiques del clima mediterrani, el fa un riu propici per generar grans avingudes i sovint de caràcter torrencial (cabal important+crescoda molt ràpida).

Per fer-se una idea de la magnitud de les avingudes del Llobregat es pot fer una comparació amb les de l'Ebre, un riu geogràficament pròxim i conegut. Pel Llobregat, amb una conca d'aproximadament 5000 km^2 , a la desembocadura l'avinguda de $T=100$ anys és de $3000m^{3/s}$ (ACA). Per l'Ebre, amb una conca de $85\,000\text{ km}^2$, l'avinguda pel mateix període de retorn (en règim natural) seria de $9000m^{3/s}$ (CHE). Per tant, l'Ebre amb una conca 17 vegades superior a la del Llobregat, la crescoda de $T=100$ anys només és 3 vegades superior a la del Llobregat.

Entre les diferents estacions de l'any les riuades més importants del riu Llobregat (al seu curs baix) s'han distribuït de la següent manera: 54,7 % a l'estiu, 16,5 % a l'hivern i la tardor i 12,3 % a la primavera ¹. Aquestes dades sobten ja que els mesos d'estiu són de mitjana els menys plujosos i amb menys cabal (veure Figura 2.2), però cal tenir en compte que en aquesta època de l'any també es poden produir fortes tempestes que deixen grans quantitats de precipitació en poques hores (vegi's l'aiguat del juny del 2000 que va deixar 200mm en 2 hores a la zona de Montserrat. El cabal mesurat a Sant Joan Despí va ser de $1400m^{3/s}$).

¹Aquestes dades són el resultat d'un treball de recerca històrica realitzat per Jaume Codina [3]. Va recopilar informació de més de 100 riuades importants del Llobregat al Prat des del s.XVI.



Figura 2.3: Comparativa d'una avinguda del Llobregat ordinària de freqüència anual (esquerra) amb una d'extraordinària (dreta). A l'esquerra el Llobregat a Sant Feliu el 12/4/2018 amb $Q \approx 150m^3/s$. A la dreta el Llobregat a Sant Boi el 10/6/2000 amb $Q \approx 1400m^3/s$ (Fotografia: l'Ajuntament de Sant Boi).

2.3 Embassaments

A la conca del Llobregat hi ha 3 embassaments importants (capacitat $> 1 \text{ hm}^3$). Un al riu Llobregat (La Baells) i dos al riu Cardener (La Llosa del Cavall i Sant Ponç).

Taula 2.2: Característiques dels embassaments de la conca del Llobregat.

Embassament	Riu	Inaguració	Capacitat	Superfície drenada	
		Any	[hm3]	[km2]	% conca Llob.
La Baells	Llobregat	1975	109	505	10
La Llosa del Cavall	Cardener	1999	80	200	4
Sant Ponç	Cardener	1954	24	307	6
Total conca			213	1,012	16

Una dada destacable de la Taula 2.2 i que es tracta en capítols posteriors d'aquest treball, és que la superfície regulada pels tres embassaments només representa un 16 % de la conca del Llobregat. Per tant, tot i que el Llobregat avui en dia és un riu regulat per embassaments, en certs episodis pot seguir sent un riu de caràcter torrencial i imprevisible.

Els tres embassaments es troben a prop de l'àrea Prepirinenca, a la capçalera dels dos cursos principals de la conca del Llobregat. És la zona més plujosa, amb mitjanes

de precipitació anuals pròximes o superiors als 1000mm. Tots tres produeixen energia hidroelèctrica, però la seva funció principal no és aquesta sinó la regulació de cabals riu avall.

La regulació de cabals (gestió de cabal sortint de l'embassament en funció de l'entrant) que efectuen es podria resumir en dues funcions:

1. **Gestió de períodes secs.** En aquests casos es deixa anar aigües avall de l'embassament un cabal superior del que hi entra, per tal de poder garantir el cabal ecològic del riu aigües avall, aigua destinada al reg agrícola i sobretot per proporcionar un cabal suficient per les ETAP's que capten aigua del riu (Abrera i Sant Joan Despí principalment) i són claus pel subministrament d'aigua potable per a més de 5M de persones.
2. **Gestió d'avingudes.** Es lamina la crescuda fent que el cabal sortint sigui inferior a l'entrant i d'aquesta manera es pretén minimitzar riscos d'inundació aigües avall. Si quan es produeix l'avinguda l'embassament està relativament buit, el cabal sortint serà baix per tal d'incrementar al màxim possible el nivell de l'embassament per poder fer front a possibles episodis secs futurs; si l'embassament està a un nivell alt s'intenta desfasar en el temps l'avinguda per tal que no coincideixi amb el pic de la crescuda d'aigües avall i minimitzar riscos.

Pel que fa a aquest treball, en què l'objectiu és estudiar l'evolució els canvis en la morfologia que ha experimentat el curs baix del Llobregat en les últimes dècades, és més interessant estudiar l'efecte que tenen els embassaments en la regulació de les avingudes. Els cabals alts són els que provoquen que hi hagi transport sòlid de fons al riu, el qual és l'element clau en la morfologia. Si els embassaments com s'ha explicat alteren el règim de cabals alts del riu, poden també haver modificat el transport de fons i ser una de les causes possibles de l'evolució morfodinàmica del riu.

En l'apartat 6.2.1.2 d'aquest treball s'analitza com han modificat el règim de cabals del Llobregat (expressat mitjançant la corba de cabals classificats) els tres embassaments de la conca, per tal d'intentar conèixer com era el cabal natural del riu abans de la construcció.

Capítol 3

Àmbit d'estudi

La zona d'estudi d'aquest treball comprèn, d'aigües amunt a aigües avall, des del Pont del Diable, situat al congost de Martorell, fins a la desembocadura al mar, al terme municipal del Prat de Llobregat. Són pràcticament 30 km (veure Figura 3.1).

El motiu pels qual s'ha escollit estudiar aquest tram del riu són els següents:

1. És el tram del riu Llobregat que al llarg de l'últim segle ha patit més canvis. Degut a la proximitat a Barcelona i a que la Vall Baixa del Llobregat és una de les vies d'entrada natural a la ciutat des del Sud, s'hi han construït nombroses vies de comunicació i s'hi ha produït un fort creixement urbanístic que han motivat actuacions humanes per modificar el riu.
2. És el tram del riu en què es disposa de més informació històrica ja sigui en forma de llibres, fotografies, estudis o projectes constructius. Aquesta informació és vital ja que pot ajudar a conèixer l'evolució cronològica dels canvis que ha experimentat el Llobregat.
3. El treball *Estudi sobre la dinàmica fluvial del riu Llobregat entre la confluència amb la riera de Rubí i Sant Boi* [19] fet pels tutors d'aquest treball final de màster i que n'és l'antecedent, es centra en aquesta zona del riu.

L'únic afluent important que rep el Llobregat dins la zona d'estudi és la riera de Rubí (marge esquerre). És una riera de caràcter torrencial, amb una conca de 124 km² que recull les aigües de la zona de la Mola, Terrassa i Rubí i amb un pendent longitudinal molt pronunciat. Normalment té un cabal molt petit si es compara amb el del Llobregat, però també pot tenir crescudes molt importants que aboquen al Llobregat una gran quantitat de cabal i sediments. N'és un exemple els famosos aiguats del Vallès del 1962,

quan un aiguat de 200mm en 2 hores va generar una crescuda sobtada de la riera que va provocar centenars de víctimes mortals [14]

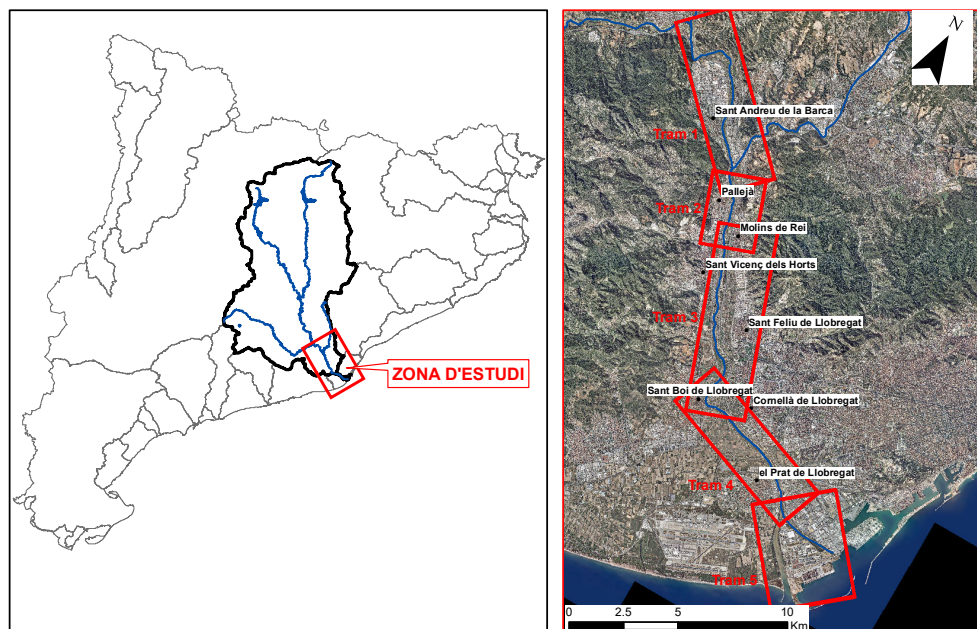
Dins la zona d'estudi no s'ha tractat com un conjunt homogeni sinó que s'ha dividit en diversos trams. De Martorell a la desembocadura el Llobregat té i ha tingut al llarg de la història característiques morfològiques (forma en planta, seccions transversals, pendent i granulometria) diferents. Llavors s'ha dividit la zona d'estudi en cinc trams diferents en què s'ha considerat que el Llobregat al seu pas per cada un d'ells és relativament homogeni. Els 5 trams es descriuen a continuació.

Taula 3.1: Característiques dels 5 trams en què es divideix la zona d'estudi

Límits				
Tram	Aigües amunt	Aigües avall	Zona	Longitud [km]
1	Pont del Diable	Confluència Riera de Rubí	Cubeta de Sant Andreu	8.5
2	Confluència Riera de Rubí	Pont de Molins de Rei	Vall Baixa	3
3	Pont de Molins de Rei	Pont fcc de St.Boi	Vall Baixa	8
4	Pont fcc de St.Boi	Pont de Mercabarna (B-250a)	Delta	6.5
5	Pont de Mercabarna (B-250a)	Mar	Delta	4

Cada tram està limitat per un punt geogràfic (confluència amb riera de Rubí) o una infraestructura (ponts antics) que és fàcilment identificable al llarg dels anys. L'únic cas que no és així és el límit superior del tram més proper a la desembocadura, tram 5. Aquest límit (pont de «Mercabarna») proper a la desembocadura s'ha escollit en aquest punt perquè és on coincideixen la llera antiga del Llobregat amb l'actual (en funcionament des del 2004).

A la Figura 3.1 es pot observar la ubicació dels cinc trams. També hi apareix la localització d'infraestructures que influeixen o afecten directament la llera del Llobregat. Són infraestructures que es van esmentant al llarg d'aquest treball i que encara estan presents avui en dia o que van existir en el passat.



PLÀNOL DE SITUACIÓ CONCA DEL LLOBREGAT FOTOGRAFIA AÈRIA DE LA ZONA D'ESTUDI

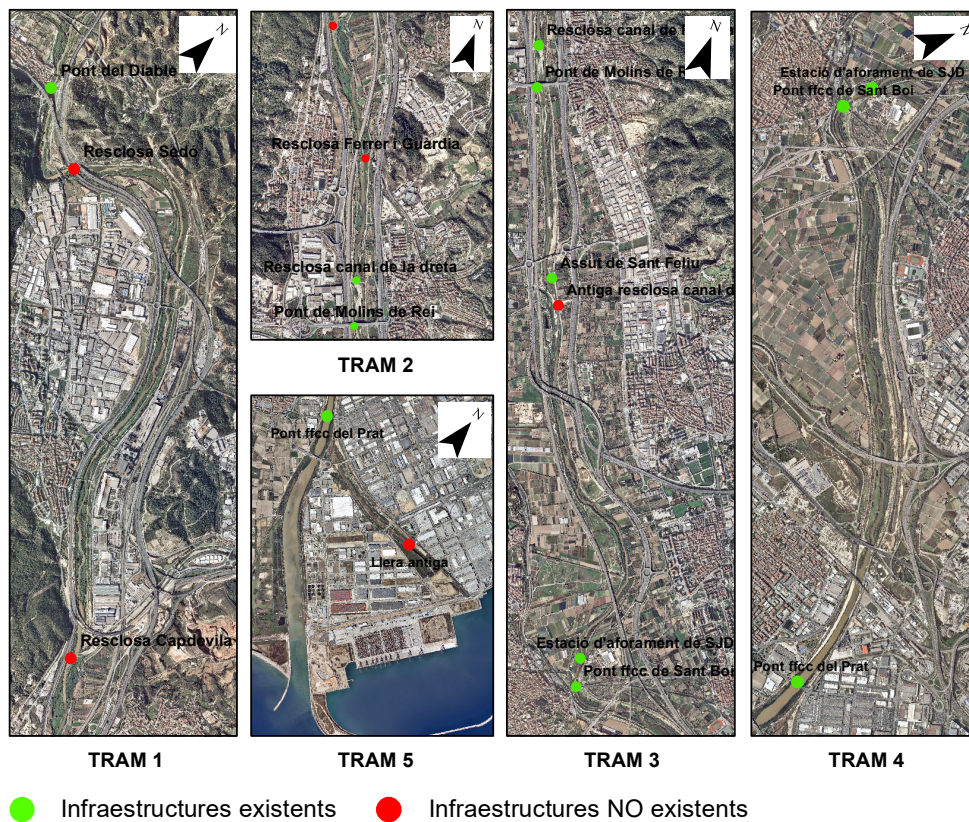


Figura 3.1: Plànol de situació i de divisió de la zona d'estudi en cinc trams.

Capítol 4

Conceptes sobre morfodinàmica fluvial

La morfodinàmica fluvial és l'estudi de l'evolució en el temps dels canvis en la morfologia fluvial. La morfologia fluvial és l'estudi de les formes del riu, en planta, secció i perfil[18]. És una disciplina amb un alt grau d'incertesa i per això tenen molta importància els coneixements empírics.

Els rius al·luvials són aquells que tenen un llit format per sediments que el propi riu ha anat transportant. Poden canviar la seva forma en planta modificant l'amplada de la llera i la seva curvatura. També poden modificar la seva secció modificant la seva profunditat. Els canvis del perfil longitudinal del fons no és independent de planta i secció [18]. L'agent responsable dels canvis morfodinàmics és el transport sòlid, que s'activa quan el flux d'aigua té capacitat per arrancar partícules al·luvials del llit del riu i transportar-les pel fons o en suspensió certa distància fins que es tornen a dipositar. El que té més repercussió en la morfologia del riu és el transport de fons.

Existeixen fórmules per calcular el transport de fons d'un riu. Són fórmules obtingudes a través d'estudis empírics amb models reduïts al laboratori. Aquestes fórmules però són molt inexactes i s'han de calibrar per cada riu. A més a més calculen el transport en potència d'un riu (capacitat de transport) sense tenir en compte la disponibilitat de material susceptible de ser transportat. El transport de fons real d'un riu depèn de la disponibilitat de material al·luvial. Un canal per exemple pot tenir molta capacitat de transport però com que té una solera de formigó el seu transport efectiu és nul.

Com s'ha dit, el transport de fons controla la morfologia d'un riu. Si no pateix canvis les formes del riu aniran evolucionant (progressió de meandres, nous dipòsits de material al·luvial, etc.) però no es produirà cap desequilibri. En el cas contrari, si el transport de fons pateix grans canvis, el riu podrà patir erosions, sedimentacions i canvis en planta que facin que tingui una nova morfologia.

El Llobregat al seu curs baix és un riu al·luvial. Per tant, per entendre els motius dels canvis que ha pogut tenir la seva morfodinàmica, és important conèixer quins són els factors que poden provocar canvis en el transport de fons d'un riu. Aquests canvis es poden agrupar en canvis a la llera i canvis a la conca.

Canvis a la llera:

- Secció transversal. La forma de la secció transversal afecta el tipus de flux. Una secció més estreta fa que l'aigua assoleixi més altura i velocitat i tingui més capacitat per arrancar les partícules del fons. El contrari per una llera més ample.
- Pendent longitudinal. El pendent controla la velocitat de l'aigua. A major pendent més velocitat i facilitat per arrancar partícules i a menor pendent flux més lent i amb menys energia. Els canvis de pendent es poden produir degut a activitats humanes com pot ser el tall d'un meandre.
- Granulometria. La mida de la partícula determina l'energia del flux necessària per iniciar el moviment.
- Disponibilitat de material al·luvial. Si disminueix la quantitat de material al·luvial de la llera el transport del riu pot disminuir encara que la seva capacitat de transport es mantingui intacta ja que aquesta depèn de la configuració hidràulica.
- Extraccions d'àrids. Les extraccions d'àrids de la llera provoquen una erosió de la llera aigües amunt (incisió regressiva) degut al canvi brusc del pendent del fons i una erosió aigües avall (incisió progressiva) degut a la disminució de la disponibilitat de material susceptible de ser transportat [6].

Canvis a la conca:

- Cabal. Si augmenta el cabal augmenta la capacitat de transport sòlid. Per exemple un transvasament d'un cabal proporcionalment important respecte el cabal del curs fluvial receptor pot provocar un augment del transport sòlid i l'erosió de la llera. Un descens del cabal provoca la disminució de la capacitat de transport.

- Usos del sòl. Un augment de la massa forestal de la conca i de la urbanització de la conca provoca una disminució de l'aportació sòlida que reben les lleres. En el segon cas també fa augmentar l'escolament superficial degut a la impermeabilització de la conca.
- Embassaments. Són una barrera del transport sòlid. Just aigües avall la disponibilitat és nul·la i es produeix una erosió de la llera. També poden afectar el règim de cabals aigües avall.

En els pròxims capítols s'estudia quina d'aquestes variables ha pogut patir canvis a la llera del Llobregat i la seva conca. En cas que s'hagin produït canvis s'analitza com han pogut afectar el transport de fons i la morfodinàmica del riu.

Capítol 5

Estudi històric

Per l'elaboració d'aquest treball, que es basa en la comparació de l'estat morfodinàmic del Llobregat en diferents èpoques, la recerca d'informació és la tasca que té el paper més rellevant ja que afecta totalment el resultat final del treball. Si la informació utilitzada és incorrecte o insuficient, el model que es fa del per poder estudiar-lo dista molt de la realitat i les conclusions assolides poden ser totalment equivocades. Per aquest motiu s'ha dedicat moltes hores en realitzar aquesta feina. Tampoc no ha estat una tasca que s'hagi concentrat en cap etapa concreta del treball. Va començar el primer dia i no acaba fins pràcticament el final ja que les necessitats d'informació van canviant en cada moment i sempre van sorgint nous dubtes.

S'ha començat per una recerca d'informació de caire més general per poder entrar en context i conèixer les característiques generals del riu Llobregat i de l'àmbit d'estudi. Aquesta cerca va permetre trobar diversos llibres, articles i treballs que han permès poder fer una descripció cronològica de l'evolució del curs baix del Llobregat i del delta. Les fotografies del riu en el passat també han estat d'utilitat.

Després s'ha centrat en la recerca de fonts d'informació més tècniques que permetin conèixer com eren les variables que afecten la morfodinàmica del riu Llobregat en el passat. Sobretot interessa informació sobre les seccions transversals, la planta del riu, el pendent longitudinal, cabals i granulometria. Aquesta informació s'ha trobat bàsicament en memòries i plànols de projectes constructius d'endegaments i d'obres de defensa de vores degut als impactes d'una crecuda.

5.1 Documentació consultada i fonts d'informació

Molta de la informació històrica necessària del riu Llobregat ja s'havia buscat en el *l'Estudi sobre la dinàmica fluvial del riu Llobregat entre la confluència amb la riera de Rubí i Sant Boi*[19]. En aquest treball ha calgut repassar-la ja que alguns aspectes que no eren necessaris per l'estudi en qüestió si que ho han estat per aquest.

Per conèixer com ha anat evolucionant el riu des de segles anteriors fins l'actualitat han estat molt útils un conjunt de llibres d'àmbit local que s'han pogut consultar en biblioteques municipals. Del tram del riu que s'ha obtingut més informació és el comprès entre Sant Boi i la desembocadura ja que del municipi que s'ha obtingut més informació és el Prat de Llobregat.

Les fotografies històriques del riu també han servit per poder ajudar a entendre com era el riu en el passat i detectar canvis respecte el present comparant-les amb l'estat actual del riu. Han estat molt útils les fotografies del fons de la CUADLL cedides per l'Enric Queralt. També s'han obtingut fotografies dels arxius municipals de diversos municipis de la zona (Sant Boi de Llobregat, el Prat, Molins de Rei, Cornellà de Llobregat i Sant Andreu de la Barca).

Els projectes, estudis i plànols tant antics com moderns, estan disponibles al fons de l'Agència Catalana de l'Aigua a l'Arxiu Nacional de Catalunya (ANC) a Sant Cugat del Vallès. Allà guarden tots els projectes antics i moderns que afecten el riu Llobregat. Per fer-se una idea de la quantitat d'informació disponible a l'ANC: hi ha 367 projectes d'infraestructures hidràuliques que afecten directament el Llobregat i 96 projectes de canalització i endegament del curs del riu (dels quals la majoria no s'han acabat realitzant). Lògicament pel temps que requereix és impossible consultar tots aquests documents. Ha calgut fer una tria dels que a priori sembla que puguin tenir la informació més rellevant. Finalment amb la tria feta s'ha realitzat una visita d'un dia a l'ANC per consultar els documents.

5.2 Descripció de l'evolució històrica del curs baix del Llobregat i el seu delta

Fa uns 2000 anys la costa era aproximadament a una distància de 6 km terra endins de l'actual i la superfície del Delta era de gairebé una quarta part de l'actual [16] (actualment el delta té una superfície de 100 km²). El Llobregat desembocava al mar entre l'actual Sant Boi i Cornellà, i la línia de la costa estava al peu de les muntanyes de la Serralada

Litoral seguint els nuclis històrics de Castelldefels, Gavà i Viladecans ¹ al Sud, i per Bellvitge fins a recer de la muntanya de Montjuïc al Nord.

La romanització de la conca va provocar que es conreessin i pasturessin molts terrenys de la conca que prèviament eren boscos. Com a conseqüència es va produir un augment de la capacitat d'erosió dels corrents de la conca i va accelerar l'aportació de sediments del riu [16]. El nom en llatí *Rubricatus* (envermellit) del Llobregat dona idea de la capacitat de transport de sediments que tenia el riu. La línia de la costa va avançar més ràpidament fet que ho demostra que en poc temps es va haver d'abandonar l'antic port natural de Barcino situat a recer de Montjuïc ja que s'omplia de sorres [7].

Els segles posteriors el delta va anar guanyant terreny al mar ² i al s.X ja es té constància dels primers masos del que serà el municipi del Prat de Llobregat. De fet el primer carrer del Prat de Llobregat (el carrer major) es va construir literalment sobre un antic braç del riu, sembla ser que sense tenir-ne coneixement [4]. A l'Edat Mitjana les sortides del riu de la llera eren habituals a la zona del delta. Per protegir les masies de les inundacions i salvar el bestiar cadascú pel seu compte es construïa un clos (terraplens de petites dimensions) que envoltés tot l'edifici.

La política de defensa de les crescudes va canviar al s.XVI. En aquesta època els municipis de la zona ja eren més grans i tenien més recursos i van decidir construir un terraplè comunal que seguissin paral·lels el curs del riu. Sant Boi i el Prat es van encarregar del marge dret i l'Hospitalet del marge esquerre. L'any 1617, l'any del diluvi, es va produir la riuada més important que es té constància. El riu va trencar els terraplens i va tornar a passar per l'antic braç i el que llavors era el carrer Major del Prat [3]. Al llarg del s.XVII, sense el manteniment adequat i amb les destrosses ocasionades per les crescudes, es van anar descuidant, abandonant i finalment van quedar destruïts [3].

Sense terraplens comunals durant els segles s.XVII i s.XVIII, els pagesos varen tornar a construir closos particulars per protegir les masies i plantaven canyissars al perímetre dels conreus per disminuir la velocitat de l'aigua i així frenar l'erosió [3]. El s.XIX va ser el de més inundacions de la història. El motiu torna a ser, igual que en l'època romana, un canvi en les característiques de la conca. Degut a la desamortització que va fer l'Estat dels béns de l'església l'any 1843 (coneguda com la desamortització de Mendizábal), es produí una terrible desforestació de la conca [3] ja que molts terrenys forestals que eren propietat de l'església van passar a ser explotats. Del 1840 al 1870 va ser el període amb major freqüència de riuades, 20 en 30 anys. En aquesta època van sorgir tensions

¹s'han trobat restes de vaixells antics naufragats en aquests municipis a varis quilòmetres de la línia actual de la costa.

²Per tenir informació detallada del creixement del delta del Llobregat és interessant consultar el llibre *Formació del delta de Llobregat*. [7]

entre els municipis del Prat i Sant Boi ja que els primers es queixaven que el terraplè que hi havia a Sant Boi concentrava el flux del riu amb més fúria cap al seu municipi [3]. La mentalitat d'aquesta època era de no posar cap tipus de trava al riu permetent que el corrent s'estengués per tot l'ample del delta.

Durant aquesta època de fortes i freqüents riuades la línia de la costa seguia avançant i guanyant terreny. A la línia de la costa del Nord i el Sud de la desembocadura hi havia dos edificis (al Nord el far del delta popularment anomenat la farola i al Sud una caseta de carabiners i un edifici anomenat el semàfor) que servien com a punts fixos per conèixer l'evolució de la línia de la costa al llarg dels anys. També durant aquesta època van sorgir les primeres propostes d'endegament i fins i tot de desviament del curs del riu. L'enginyer Barceloní Pere Garcia Fària va redactar un projecte l'any 1891 (veure Figura 5.1) per desviar el Llobregat des de Sant Boi fins a l'estany del Remolar (antic braç del Llobregat)

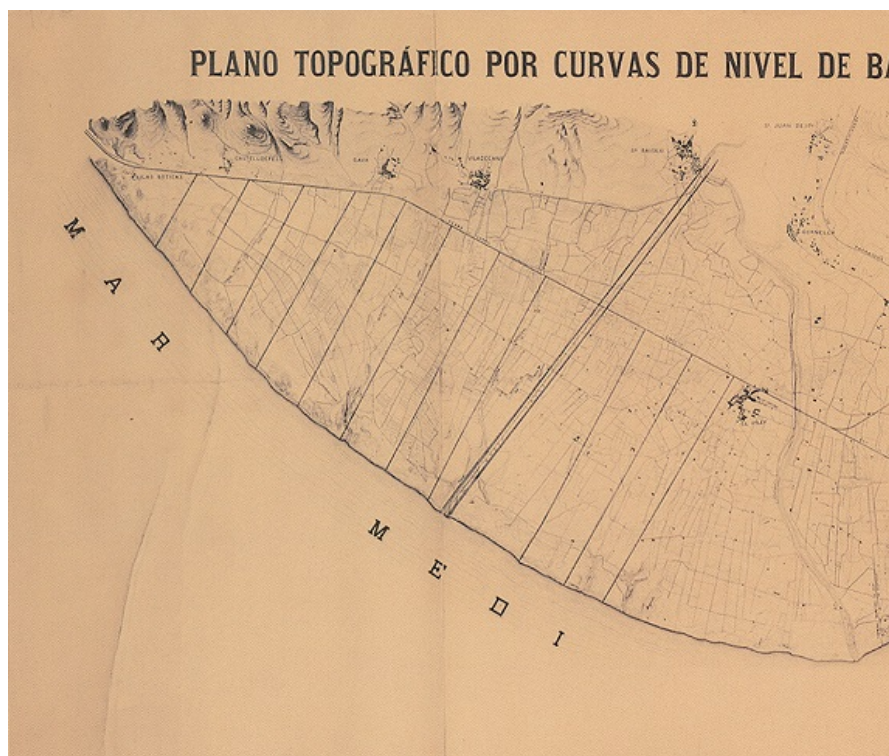


Figura 5.1: Plànol del projecte de desviament del Llobregat dins del marc del projecte de sanejament del pla de Barcelona fet per l'enginyer Garcia Fària. Any 1891. Font: ICGC.

L'any 1907 es va produir l'última gran avinguda general (s'anomenaven avingudes generals aquelles que l'aigua ocupava tota la plana deltaica. De Castelldefels als peus de Montjuïc). Segons els diaris de l'època es van inundar més de 100 km² i el nivell de l'aigua en alguns punts va ser d'entre 2 i 3 m. Després d'aquesta avinguda extraordinària es va construir un fort terraplè al marge dret del Llobregat des de Sant Boi fins al Prat [3].

Entre la primera i la segona dècada del s.XX l'evolució de la línia de la costa és diferent a cada costat de la desembocadura del riu. Al Nord, comparant plànols antics on apareix la farola amb les imatges aèries més antigues, s'observa un retrocés de la línia de la costa (veure Figura 5.2). En canvi al Sud, un informe [5] de l'època Republicana de l'any 1934, indica que entre 1844 i 1934 la costa va avançar 179 m en aquest punt.



Figura 5.2: Comparativa de l'evolució de la línia de la costa al Nord de la desembocadura al llarg de la primera meitat del s.XX. L'any 1926 la distància de la farola al mar era de 239 m, el 1946 100 m i el 1956 ja no queda platja i s'ha hagut de construir una escullera per protegir el far de l'embit de les onades.

Al llarg del s.XX els canvis a la llera del Llobregat s'han accelerat de forma degut al fort creixement demogràfic i econòmic de la zona. Les fites més importants es citen a continuació de forma esquemàtica:

- 1912: construcció del pont de fcc a Sant Boi.
- 1944: important avinguda el mes de febrer. Es van produir danys importants, com la destrucció de 264 m de via de tren al meandre de Castellbisbal i la pèrdua de 100 ha de terreny agrícola als municipis de la Vall Baixa i el Delta.
- 1962: avinguda de cabal punta pròxim a $2000m^{3/s}$ [17].
- 1970: construcció de l'autopista AP-2 al marge esquerre del Llobregat. Excavació de la llera.

- 1971: avinguda de cabal punta pròxim a $3000m^3/s$ [17].
- 1979: desviament del Llobregat a Cornellà. El riu deixa de fer el meandre popularment anomenat la marrada.
- 1998: Construcció de l'autovia A-2 al marge dret del riu. Excavació de la llera.
- 1998: avinguda de cabal punta pròxim a $1500m^3/s$. Provoca una incisió en molts punts de la llera superior a 1 m [17].
- 2004: Nova llera a la desembocadura 2 km al Sud de l'antiga.
- 2005: Construcció de la plataforma de l'AVE entre l'autovia A-2 i el riu. Excavació de la llera.



Figura 5.3: Zona inundable del curs baix del Llobregat (línia vermella). A l'esquerra plànol del 1946 del Projecte definitiu d'endegament del riu Llobregat des del pont de la carretera de Madrid a França per la Jonquera, a Molins de Rei, fins al mar (1946) (consultat a l'ANC). A la dreta zona inundable de T=100 anys definida per l'ACA

5.3 Fotografies aèries històriques

En aquest apartat s'utilitzen imatges aèries històriques per fer una descripció del canvis en planta del riu Llobregat a l'àmbit d'estudi i de l'evolució de la línia de la costa a la desembocadura. Les dades de les imatges aèries històriques apareixen a la Taula 5.1.

Taula 5.1: Característiques de les ortofotos de diferents anys utilitzades en aquest treball i ús que se n'ha fet

Any	Font	Ortofotos històriques utilitzades		
		Ús pel riu?	Trams del riu disponible	Ús per línia costa?
1946	1r vol americà	Sí	Tots	Sí
1956	2n vol americà	Sí	Tots	Sí
1965	AMB	Sí	Tots	Sí
1974	AMB	Sí	Falta tram 1	Sí
1981	AMB	Sí	Falta tram 1	Sí
1993	ICC	No	-	Sí
2000	ICC	No	-	Sí
2016	ICC	Sí	Tots	Sí

Totes les imatges aèries utilitzades són de tipus ortofoto i estan georeferenciades. Gràcies a això es poden realitzar comparacions fiables entre elles. Destacar que els anys 1974 i 1981 no cobreixen el tram 1 del riu.

5.3.1 Moviments en planta del riu Llobregat

Per estudiar els canvis en planta del riu Llobregat als 5 trams en què s'ha dividit l'àmbit d'estudi, per cada fotografia s'ha marcat mitjançant línies el marge dret i el marge esquerre de la llera del riu. Aquestes línies no corresponen a la zona inundable que pot assolir el Llobregat en les grans avingudes sinó al límit de la zona amb material al·luvial del riu i que per tant s'inunda amb més freqüència que les planes d'inundació. Al Subsecció 6.1.1 s'explica quins criteris s'han fet servir alhora de resseguir aquestes línies sobre l'imatge aèria.

Abans de la modificació del riu amb els endegaments, aquesta zona representaria la llera associada al cabal dominant, que és el responsable principal de les dimensions de la llera (amplada, profunditat, etc.). A partir de que s'ha fet l'endegament, aquesta assignació ja no es pot fer [19].

Abans d'analitzar els canvis tram a tram és bo posar en context i conèixer quin era l'estat general del riu en la zona d'estudi l'any de cada fotografia (recordem: 1946, 1956, 1965, 1974, 1981 i 2016):

- **1946:** és pocs anys després de les avingudes del 1942 i 1944. Aquesta última va inundar 3000 ha de terreny agrícola i va arrasar 100 ha ³ Per tant degut a aquestes riuades potser el riu l'any 1946 tenia una amplada major que anys abans del 1942 ⁴. A la Vall Baixa el riu tenia una plana d'inundació d'1 km a banda i banda lliure d'obstacles. Per aquestes dues raons (llera més ample degut a riuades recents i planes fluvials sense obstruccions) es pot considerar que les imatges del 1946 representen l'estat prístí del Llobregat.
- **1956:** Entre el 1946 i el 1956 no es té cap constància de grans avingudes que provoquessin inundacions importants i danys. El 1955 entra en funcionament el primer embassament important de la conca, Sant Ponç.
- **1965:** El setembre del 1962 es produeix l'històric aiguat del Vallès. El riu Llobregat va experimentar una important crescuda amb un cabal punta aproximat de $2000m^{3/s}$ [17]. Destrucció de la resclosa Ferrer i Mora [17]. Durant la dècada dels 60 s'inicia un fort creixement urbanístic de la zona i es comencen a produir extraccions d'àrids importants del llit del riu.
- **1974:** El 1972 es construeix l'autopista al marge esquerre del riu (actua B-23). Per primer cop a l'història un terraplè limita a només 150 m la plana d'inundació del marge esquerre de tota la Vall Baixa fins Sant Feliu. La construcció de l'autopista provoca l'excavació de la llera per tal de guanyar capacitat hidràulica. Segueixen les extraccions d'àrids del riu. El 1971 important riuada amb un cabal punta de $3080 - 3170m^{3/s}$ [17].
- **1981:** El 1975 entra en funcionament l'embassament de la Baells. El 1979 finalitza el desviament del riu a Cornellà de Llobregat. Desapareix el meandre conegut com "la marrada".
- **2016:** El 1998 es construeix l'autovia A-2 en tot el marge dret del riu fins Sant Vicenç dels Horts. Amb la construcció també s'excava la llera del riu. El riu té

³Informació extreta de la memòria del Projecte definitiu d'endegament del riu Llobregat des del pont de la carretera de Madrid a França per la Jonquera, a Molins de Rei, fins al mar (1946) (consultat a l'ANC).

⁴Tenint en compte la situació de postguerra de l'època és possible que es trigués anys a recuperar els terrenys agrícoles emportats pel riu.

una secció trapezoïdal artificial i no té plana d'inundació. Finalitza la construcció de la nova desembocadura, 2km al Sud que la natural fins al moment. El 2005 es construeix la plataforma de l'AVE entre l'autovia A-2 i el riu i es torna a excavar la secció degut a la pèrdua d'amplada de la mateixa.

A continuació es mostren pels 5 trams de l'àmbit d'estudi els límits de les zones alluvials traçats per cada una de les imatges aèries. A l'annex d'aquest treball es pot consultar un collage amb totes les ortofotos originals per cada tram. Permet veure com ha evolucionat la llera del riu i s'han anat ocupant les seves planes d'inundació.

Tram 1

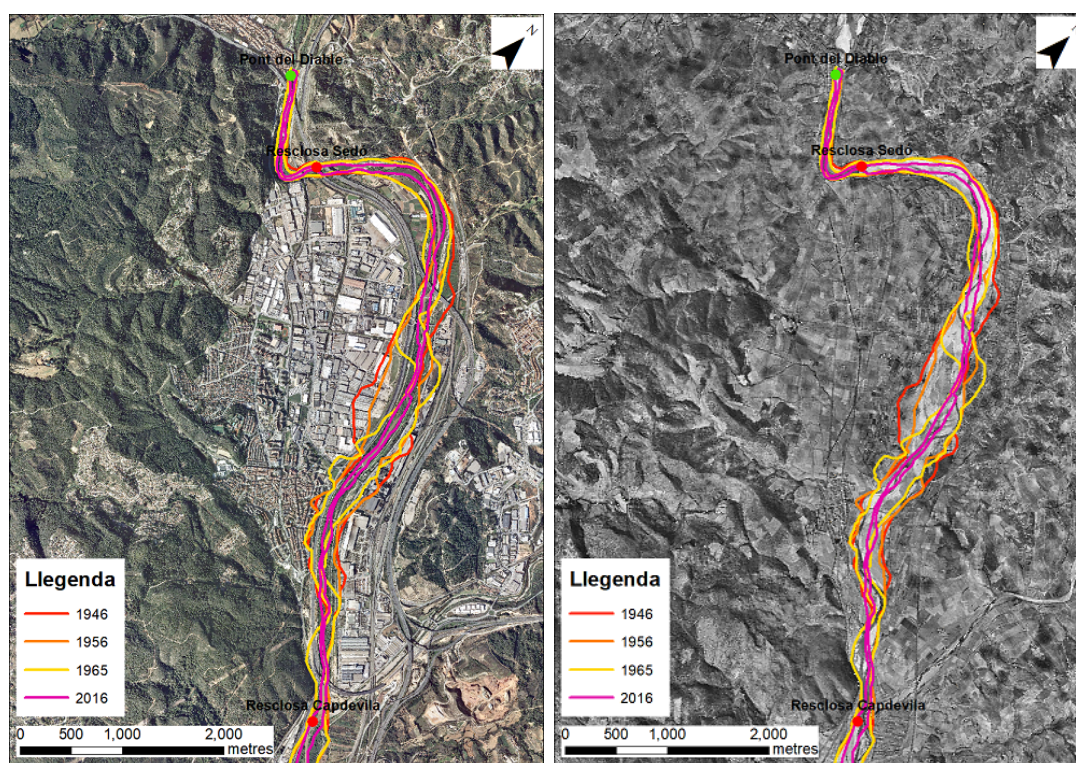


Figura 5.4: Comparativa de l'evolució del tram 1 mitjançant fotografies aèries històriques. A l'esquerra amb el fons amb l'ortofoto del 2016 i a la dreta amb la imatge aèria del 1946.

En aquest tram el Llobregat passa per la cubeta de Sant Andreu de la Barca. A l'inici hi ha el congost de Martorell que estreny el riu però de seguida el terreny s'aplana a banda i banda. L'any amb la llera més ample en aquest tram és el 1946. El riu tenia en aquella època un caràcter trenat amb una llera d'aigües baixes sinuosa de molta

mobilitat i moltes barres de material al·luvial. En antigues zones de la llera del 1946 en l'actualitat trobem l'autovia i polígons industrials. L'any 1956 la llera és considerablement més estreta que la del 1946, però la del 1965 torna a ser més ampla que l'anterior i s'observa el moviment d'algun meandre del riu. Fins i tot en un punt la llera es va apropar perillosament a l'antiga carretera del marge esquerre i es van haver de construir d'emergència uns espigons per desviar el flux de l'aigua i protegir-la. Segurament el motiu d'aquests moviments i de l'eixamplament de la llera va ser la forta riuada del 1962. En aquesta època per tant el Llobregat encara era un riu al·luvial actiu capaç de realitzar canvis importants en planta i secció. El riu de l'any 2016 és totalment diferent, ja que passa per un canal trapezoïdal recte sense sinuositat, i els dipòsits de material al·luvial són minsos.

Tram 2

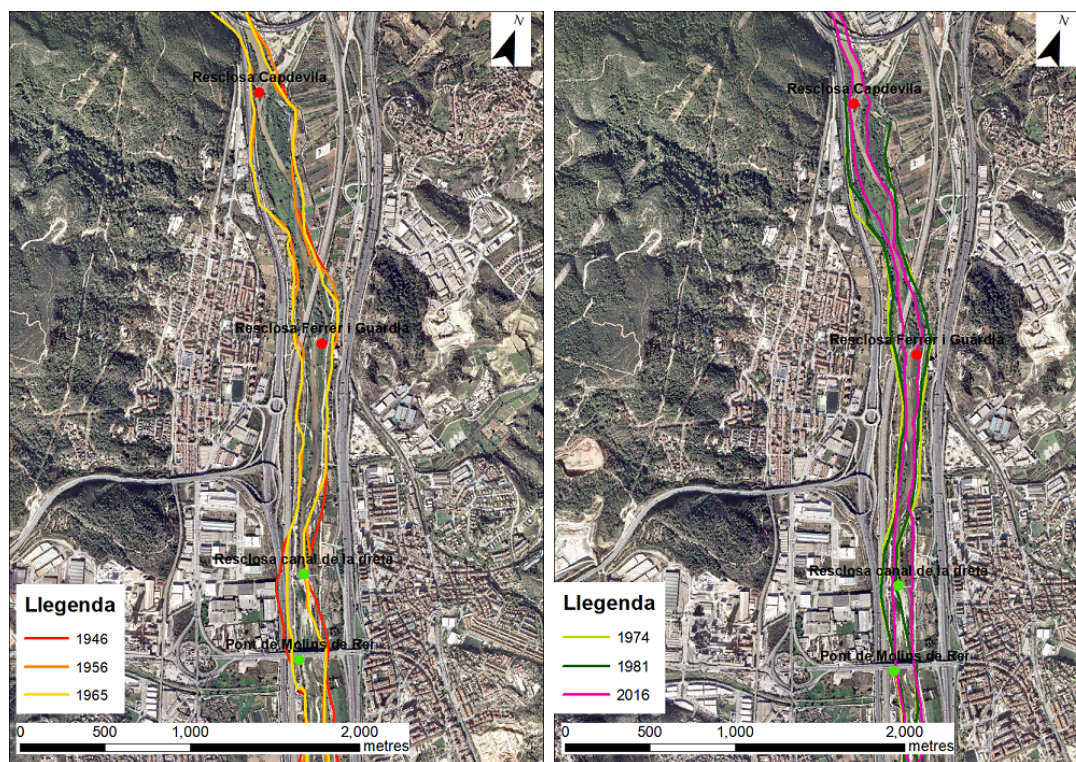


Figura 5.5: Comparativa de l'evolució del tram 2 mitjançant fotografies aèries històriques.

En aquest tram, situat entre la confluència de la riera de Rubí i el pont de Molins de Rei, el riu entra a la Vall Baixa. De nou es segueix observant que del 1965 en en-

darrere el riu era ample i actiu, i que a partir del 1974 el riu està encaixonat entre motes.

Tram 3

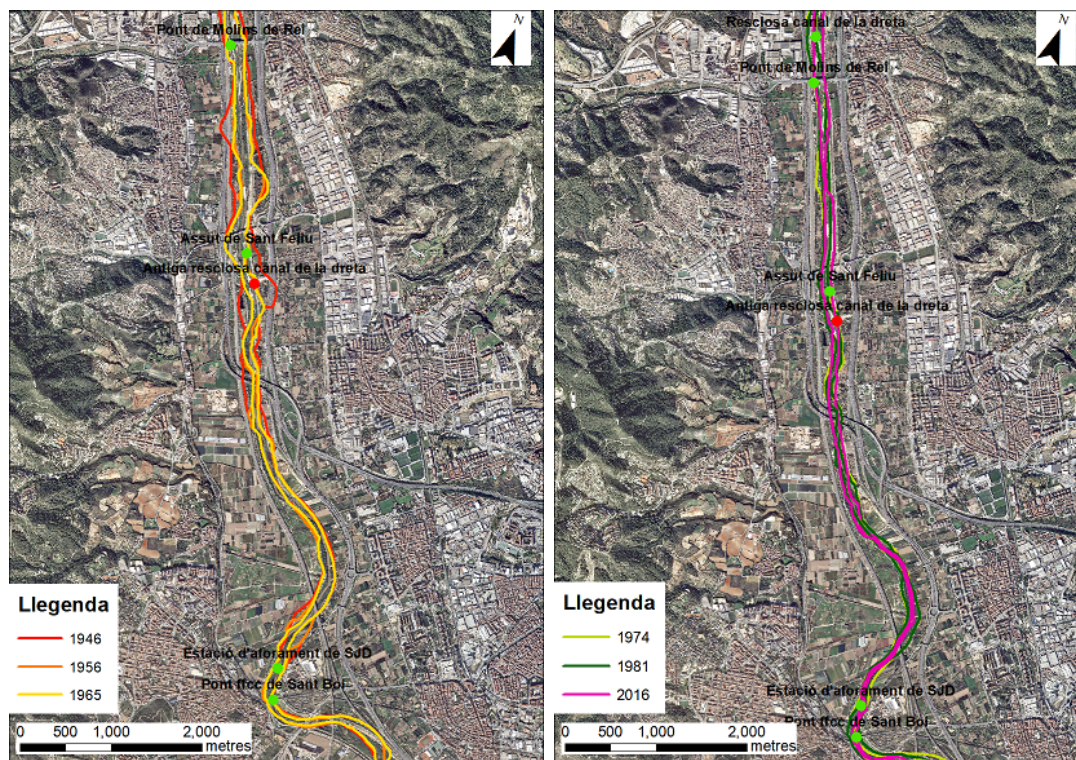


Figura 5.6: Comparativa de l'evolució del tram 3 mitjançant fotografies aèries històriques.

Aigües avall de l'antiga resclosa del canal de la dreta, el Llobregat l'any 1946 tenia una gran amplada ja que la riuada del 1944 va provocar que el riu creés un nou braç pel marge esquerre (que era una antiga llera que el riu va recuperar) que va inutilitzar la resclosa fins que no es va ampliar mitjançant una estructura de formigó de forma circular[19]. El 1956 tot aquest terreny que el riu havia guanyat degut a la riuada del 1944, va ser guanyat per l'home i convertit en terreny agrícola de nou. Es pot observar com trams de l'autopista, l'autovia i l'AVE formaven part de la llera en el passat.

Tram 4

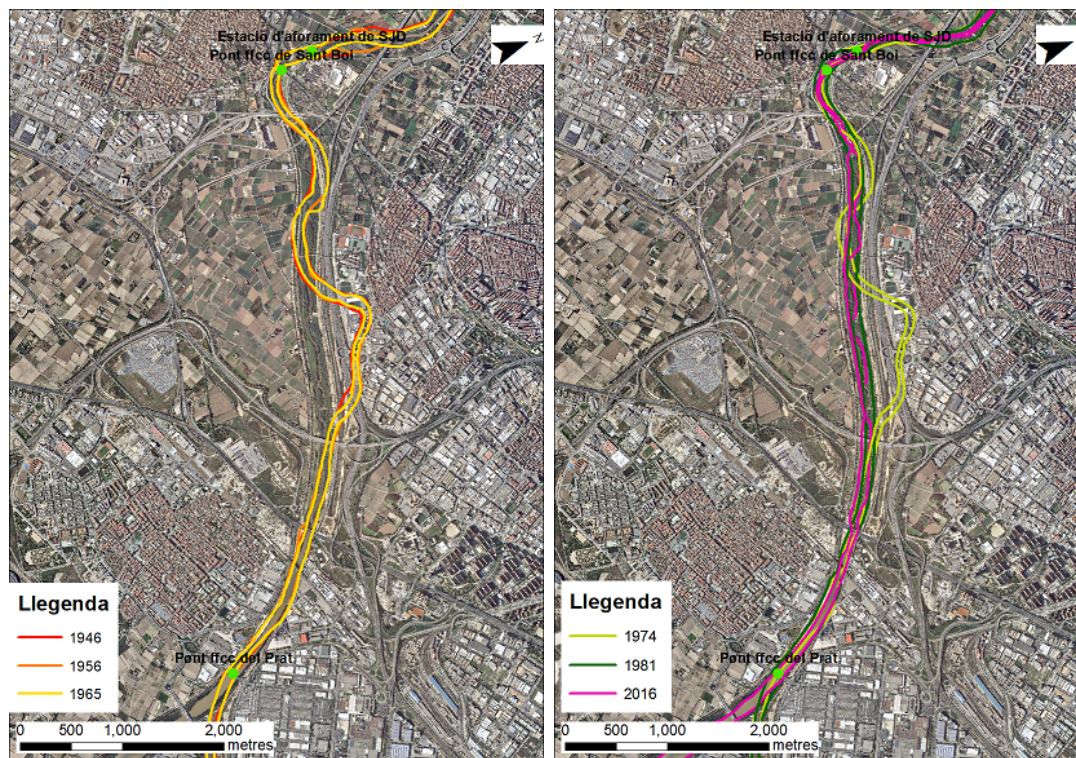


Figura 5.7: Comparativa de l'evolució del tram 4 mitjançant fotografies aèries històriques.

Aigües avall de Sant Boi el riu deixa enrere la Vall Baixa i entra al Delta. Això fa que en poca distància el pendent longitudinal del riu disminueixi a la meitat (veure Taula 7.1). Aquesta disminució del pendent coincideix amb un canvi en la granulometria (el Llobregat passa de un riu de graves a un riu de sorres [19]) i provoca que el riu perdi energia. Per aquest motiu abans de l'endegament l'amplada de la llera era menor que la d'aigües amunt i més profunda.

Es pot observar també que la llera del 1981 ja no fa la marrada de Cornellà. L'any 2016 tot i tenir un endegament amb secció transversal trapezoïdal com el 1981, la zona l'amplada al·luvial és menor degut a que ha crescut molt la vegetació (veure Figura 6.2) els últims anys.

Tram 5

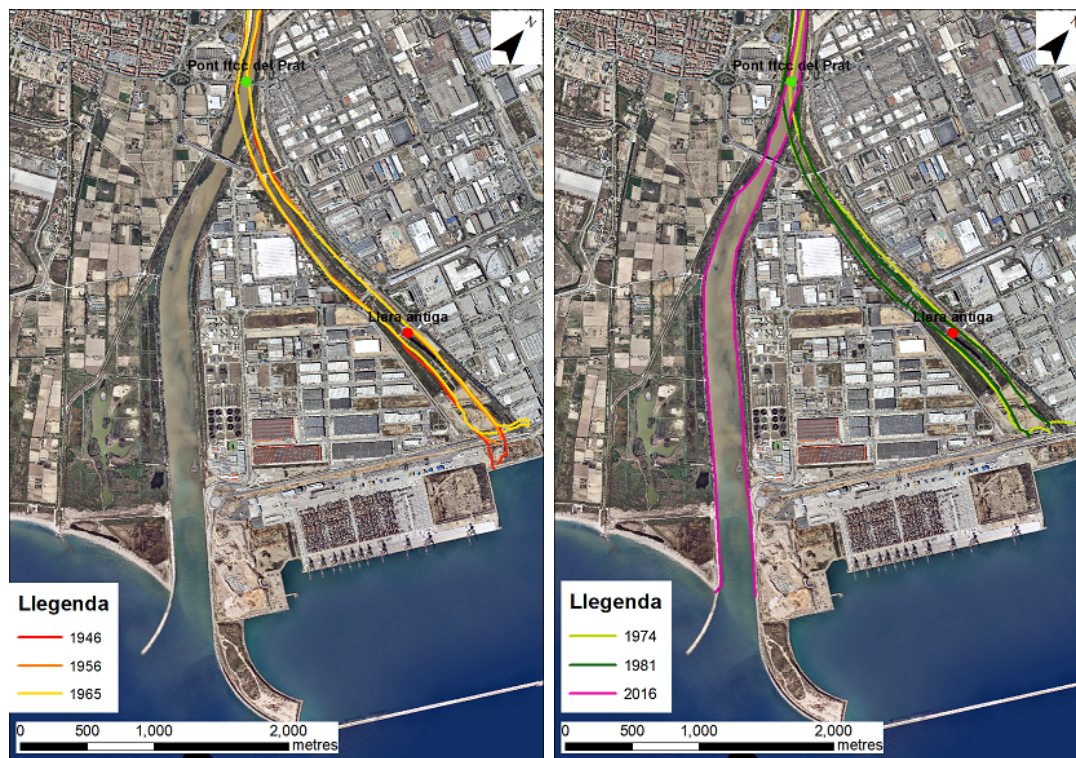


Figura 5.8: Comparativa de l'evolució del tram 5 mitjançant fotografies aèries històriques.

En el tram final entre el Prat de Llobregat i la desembocadura destaquen dos aspectes:

1. L'amplada de l'antiga llera es va mantenir força constant entre el 1946 i el 1981. Clarament és el tram dels cinc d'aquest estudi amb menys diferències entre aquests anys.
2. La nova llera, situada 2km més al Sud, és molt més ample que l'anterior (en algun punt més del doble). Aquesta llera/estuari va ser dissenyada des d'un punt de vista purament de capacitat hidràulica per fer improbable la inundació dels voltants. Com s'explica més endavant, les conseqüències d'aquest fet són que ha esdevingut una trampa pel sediment del riu i n'ha minimitzat o eliminat l'arribada al mar.

5.3.2 Evolució de la línia de la costa del Delta

Aprofitant que es disposa de les imatges aèries també s'ha mesurat la línia de la costa en tot el delta els diferents anys per poder conèixer la seva evolució des del 1946 fins a l'actualitat. Recordar que tal com s'explica en l'apartat 5.2 als anys 30 del segle passat el delta retrocedia al Nord de la desembocadura (al far del delta) i guanyava terreny al Sud (casa de carrabiners).

Els canvis en la línia de la costa a prop de la desembocadura poden ser bons indicadors de com ha evolucionat el transport de sediments del riu. Tot i que és cert que en la dinàmica dels deltes hi influeixen d'altres factors a banda del riu que el forma (principalment l'onatge, la presència de ports artificials i en menor mesura el vent), si es produeixen canvis importants és segur que la quantitat de sediments que el riu aboca al mar hi té influència. Una altra variable que complica l'estudi de l'evolució del delta del Llobregat és el creixement del port de Barcelona que fins el 2005 estava situat just al Nord de l'antiga desembocadura.

A continuació es mostra una figura amb la l'evolució de la línia de la costa de la zona més pròxima a la desembocadura (no s'hi inclou l'any 2016 ja que aquell any el riu ja estava desviat i el port ocupa l'antiga llera del riu).

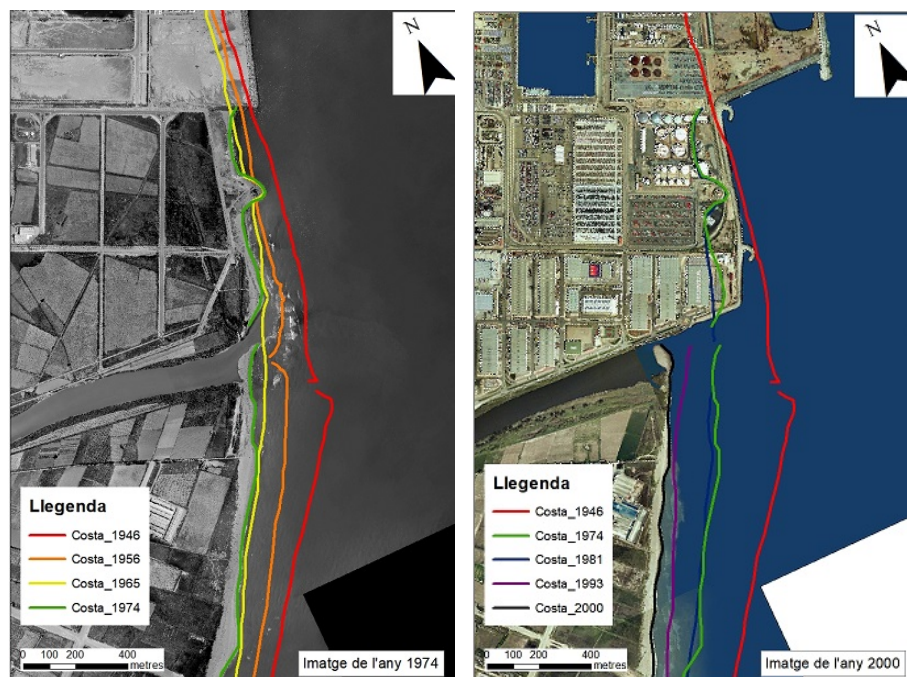


Figura 5.9: Comparativa de l'evolució de la línia de la costa del tram més proper a l'antiga desembocadura del Llobregat.

Els resultats són contundents. El retrocés des del 1946 fins l'any 2000 assoleix un valor màxim de 500 m. El retrocés de la costa que es produeix entre el 1946 i el 1956 és especialment interessant ja que entre les dues dates no hi ha cap ampliació del port de Barcelona, i per tant aquest no hauria de tenir cap influència en l'evolució de la costa en el període. El retrocés és de 150 m al punt més pròxim a la desembocadura i és superior als 70 m fins 1 km al Nord i al Sud d'aquesta.

Aquest canvi tan destacable en només 10 anys ha d'estar motivat per una reducció del transport de sediments del Llobregat. Aquesta reducció només pot ser possible degut a canvis en una o varies de les variables del riu que condicionen el transport de fons. Els anys posteriors (1965 i en endavant) el port de Barcelona s'ha anat ampliant i pot haver influït en l'evolució de la costa, però sembla raonable afirmar que els canvis del riu que n'han modificat el comportament han seguit i possiblement augmentat. En el Capítol 6 s'estudia com s'han modificat aquestes variables que afecten el transport de fons del riu (i la seva morfodinàmica) per tal de poder conèixer quines han tingut més responsabilitat en la disminució de l'arribada de sediments al delta .

Capítol 6

Canvis en les variables que afecten la morfodinàmica del riu

En aquest capítol s'estudien com han canviat les variables més importants que poden explicar l'evolució morfodinàmica recent del riu Llobregat. S'analitzen els canvis produïts a la llera del curs baix i els canvis a la conca. La informació utilitzada per avaluar la magnitud d'aquests canvis han estat: imatges aèries, sèries de dades hidrològiques i mapes de cobertes del sòl de la conca.

6.1 Canvis a la llera

El riu Llobregat al seu tram baix ha canviat molt en poques dècades. La seva llera s'ha modificat a causa d'accions humanes i això ha afectat la seva morfologia. El principal impacte ha estat la reducció de l'amplada de la llera del riu i de les planes d'inundació. També el riu ha perdut la possibilitat de realitzar moviments en planta ja que una sèrie d'infraestructures (viàries i ferroviàries) i endegaments l'han clos en un canal de secció trapezoïdal. També s'han produït grans extraccions d'àrids de dipòsits al·luvials del llit del riu.

6.1.1 Disponibilitat de material al·luvial a la llera

Com s'explica en el Capítol 4, els canvis en la disponibilitat de material al·luvial (quantitat i/o granulometria) d'un riu poden ser determinants per la morfodinàmica, ja que encara que el riu mantingués la mateixa capacitat de transport de fons (transport en potència), el transport sòlid real canviaria. Per estudiar com ha canviat la disponibilitat

de material al·luvial de la llera del Llobregat s'han comparat les imatges aèries històriques de diversos anys (1946, 1956, 1974 i 1981) amb l'ortofoto actual (2016).

Per quantificar numèricament com ha canviat la disponibilitat de material al·luvial del curs baix del Llobregat, s'han analitzat dues variables: l'amplada i la superfície.

Abans però és necessari explicar quins criteris s'han seguit per decidir què és terreny al·luvial del riu i què no ho és. Per ajudar a decidir aquests criteris han estat molt útils les dues visites de camp que s'han fet de la zona d'estudi, la primera el 12 d'abril del 2018 i la segona el 7 de juny del 2018. Van servir per poder entendre molt millor com és el riu Llobregat, ja que amb les imatges aèries hi ha certs aspectes que no es poden percebre (seccions transversals, tipus de flux, tipus de vegetació de la llera, etc). Finalment es va prendre la decisió de dividir la llera en tres categories diferents:

- **Zona al·luvial:** una crescuda ordinària pot mobilitzar el material al·luvial i hi ha transport de fons.
- **Zona no al·luvial:** la capa de coberta del sòl (vegetal o artificial) situada sobre el material al·luvial impedeix que el riu el pugui mobilitzar. No es produeix transport de fons.
- **Zona primicolonitzadora:** una avinguda de caràcter extraordinari és capaç d'arrancar la coberta de vegetació i mobilitzar el material al·luvial que hi ha a sota.

A continuació s'adjunten unes imatges per entendre millor les categories.



Figura 6.1: **Zona al·luvial** just aigües avall de l'assut de Molins de Rei. Fotografia de la zona on s'observa un dipòsit de material (esquerra. L'aigua circula de dreta a esquerra), i plànol que mostra els límits de la zona al·luvial (línies verdes) que s'ha fet en aquest punt (dreta. L'aigua circula de dalt a baix). El dipòsit de material es considera zona al·luvial. Autor fotografia: Juan.P Martín Vide).



Figura 6.2: Exemple de **zona no al·luvial** a Cornellà de Llobregat. Fotografia de l'indret on s'observa que el riu circula només per un estret tram de l'endegament que està envoltat de canya americana d'alçada superior als 5m (esquerra. L'aigua circula de baix de la imatge a dalt), i plànol que mostra els límits de la zona al·luvial (línies verdes) que s'ha fet en aquest punt (dreta. L'aigua circula de dalt a baix). Les il·letes de canya americana no estan incloses en zona al·luvial. Autor fotografia: Juan.P Martín Vide).

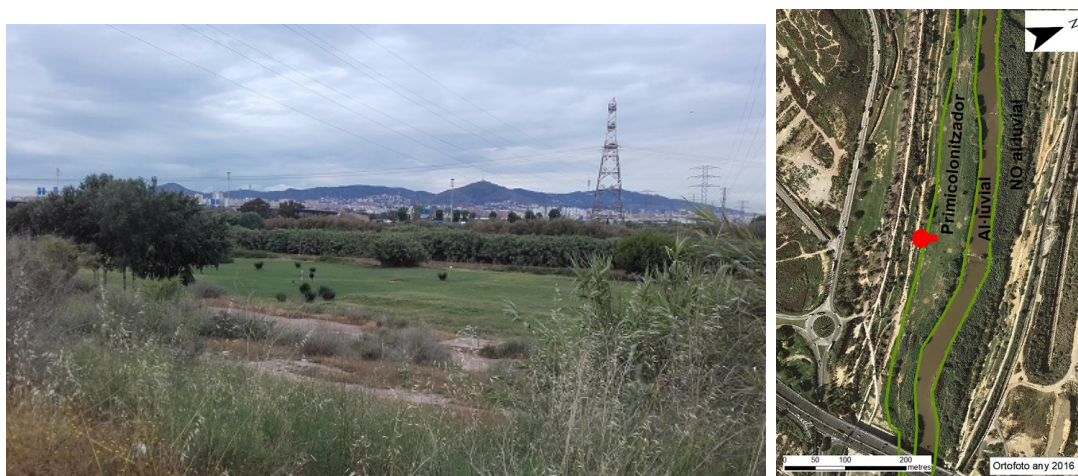


Figura 6.3: Exemple de **zona primicolonitzadora** a la llera del riu entre Cornellà i el Prat. Fotografia de l'indret on s'observa que al marge de la llera d'aigües baixes hi ha un terreny amb poca vegetació que s'ha aprofitat com a zona de lleure amb un petit camp de golf (esquerra. L'aigua circula d'esquerra a dreta), i plànol que mostra els límits de la zona al·luvial i primicolonitzadora (línies verdes) que s'ha fet en aquest punt (dreta. L'aigua circula de dalt a baix). El petit camp de golf està inclòs en zona primicolonitzadora. Autor fotografia: Juan.P Martín Vide).

Un cop clars els criteris definits per tal de delimitar la disponibilitat de material al·luvial de la llera es va procedir a la delimitació d'aquestes zones en les 6 imatges aèries d'anys diferents disponibles mitjançant GIS . Ha estat un treball lent i que ha requerit moltes hores. Algunes imatges resultants d'aquesta feina es poden veure a l'apartat 5.3.1

6.1.1.1 Amplada al·luvial de la llera

L'amplada s'ha calculat en equidistàncies de 100 m. En total s'han obtingut 300 mesures per cada un dels anys estudiats.

Taula 6.1: Evolució de l'amplada al·luvial de la llera del Llobregat al curs baix.

Amplada al·luvial i percentatge respecte l'any 1946												
	1946		1956		1965		1974		1981		2016	
	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Tram 1	178	100	100	56	125	70	-	-	-	-	34	19
Tram 2	157	100	91	58	134	85	146	93	90	57	51	32
Tram 3	147	100	72	49	84	57	66	45	52	35	36	24
Tram 4	83	100	61	73	58	70	62	75	85	102	39	47
Tram 5	98	100	72	73	78	80	88	90	90	92	196	200
TOTAL	136	100	79	58	95	70	81	60	74	54	59	43

Els resultats de l'amplada al·luvial mostren que en general des del 1946 s'ha reduït de forma rellevant. Si es considera que l'any 1946 el riu estava en un estat natural (amb poques intervencions humanes) i en equilibri, en l'actualitat l'amplada al·luvial del riu és entre un 20 i un 50% de la natural a la zones de la Cubeta de Sant Andreu i a la Vall Baixa, i d'un 60 % al delta (sense tenir en compte la nova llera, que és el doble d'ample que l'antiga). Analitzant els resultats en més detall es pot extreure més informació interessant:

1. Entre els anys 1946 i 1956 s'estreny molt la llera aigües amunt de Sant Boi (trams 1,2 i 3). El motiu és que es creen nous terrenys agrícoles on abans hi havia llera.
2. L'any 1965 l'amplada és superior a la del 1956 ja que la forta riuada del setembre del 1962 fa que el riu, que encara no estava endegat i no hi havia les autopistes, guanyi amplada i recuperi terreny perdut.
3. L'any 2016 als trams de l'1 al 4 l'amplada al·luvial disminueix considerablement respecte el 1981. Entre el 1981 i el 2016 es construeix al marge dret l'autovia i

l'AVE, però el motiu principal d'aquesta reducció d'amplada (sobretot al tram 4) és el creixement important de la vegetació de ribera, sobretot canya americana (veure Figura 6.2).

4. Fins a la creació de la nova llera a la desembocadura, l'amplada no va canviar gaire del 1946 al 1981. La nova llera té el doble d'amplada alluvial que l'original.

Alguns d'aquests exemples concrets s'han inclòs a la Figura 6.4.

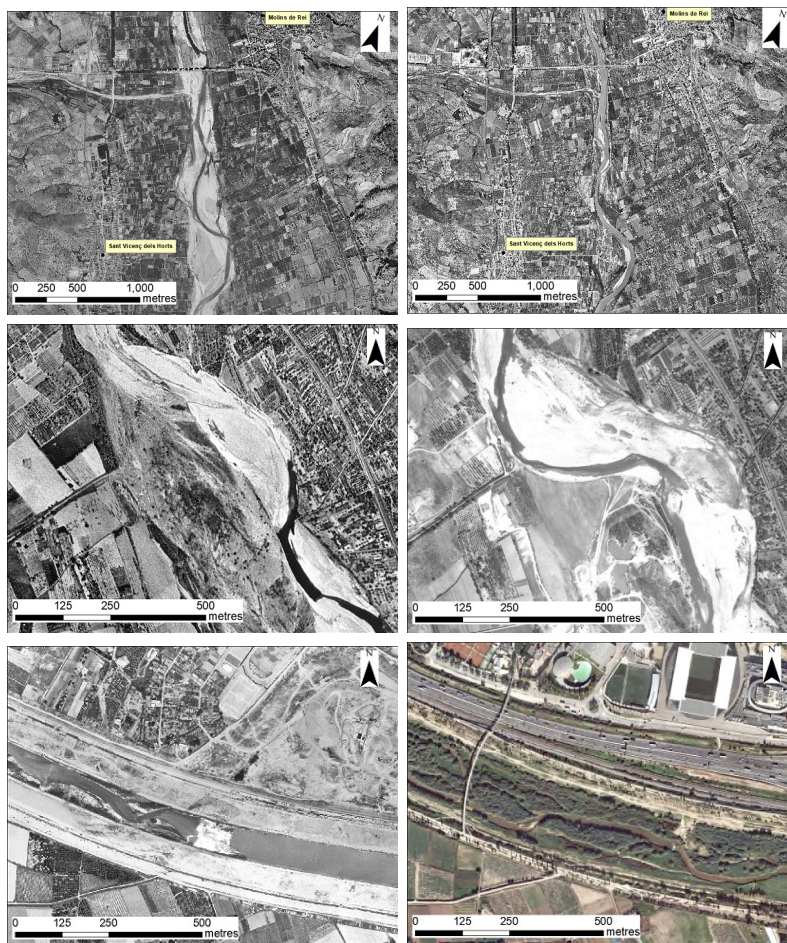


Figura 6.4: De dalt a a baix: terreny agrícola ocupa la llera del riu (1946 vs 1956), progressió de meandres aigües amunt de Sant Andreu de la Barca degut de l'avinguda del 1962 (1956 vs 1965) i la vegetació creix a la zona de Cornellà (1981 vs 2016).

Taula 6.2: Evolució de l'amplada (zona al·luvial + primicolonitzadora) de la llera del Llobregat al curs baix.

Amplada (al·luvial + primicolonitzadora) i % respecte l'any 1946												
	1946		1956		1965		1974		1981		2016	
	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Tram 1	239	100	198	83	174	73	-	-	-	-	52	22
Tram 2	184	100	158	86	165	90	155	84	138	75	85	46
Tram 3	185	100	123	66	113	61	88	48	76	41	57	31
Tram 4	94	100	87	93	80	85	70	74	97	103	56	60
Tram 5	113	100	102	90	101	89	109	96	98	87	196	173
MITJANA	170	100	137	81	127	75	97	57	96	56	77	45

6.1.1.2 Superfície de material al·luvial de la llera

Els resultats del càlcul de la superfície de material al·luvial a la llera es mostren a la següent taula:

Taula 6.3: Evolució en els anys de la superfície al·luvial del Llobregat a la zona d'estudi.

Superfície al·luvial en hectàrees i percentatge respecte l'any 1946												
	1946		1956		1965		1974		1981		2016	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Tram 1	148	100	86	58	106	72	-	-	-	-	28	19
Tram 2	54	100	33	61	47	87	49	90	30	56	18	33
Tram 3	119	100	57	48	67	57	53	44	41	35	29	24
Tram 4	57	100	42	75	41	72	43	75	54	95	23	41
Tram 5	35	100	25	71	28	79	30	86	30	86	77	221
TOTAL	412	100	243	59	289	70	174	66	156	59	175	43

Lògicament els resultats són equivalents als que s'han obtingut per l'amplada al·luvial. Aquests resultats són molt importants i afecten especialment el transport sòlid de fons del riu. El transport sòlid real d'un tram concret d'un riu depèn de la disponibilitat de sediment que li arriba dels trams aigües amunt. Per tant, la quantitat de sediment que el Llobregat aboca al mar depèn de la disponibilitat de sediment que li arriba dels trams aigües amunt. Sí la superfície al·luvial del riu és un 60% inferior en l'actualitat a la Vall Baixa (entre Sant Boi i Pallejà) respecte l'any 1946, arriba menys sediment al tram del delta i el riu transporta menys sediment al mar, provocant que el delta retrocedeixi (la Figura 5.9 mostra el retrocés del delta).

6.1.2 Seccions transversals

Per conèixer com han evolucionat les seccions transversals del Llobregat al llarg dels anys ha estat necessària informació referent a la seva amplada i alçada. Per l'estat actual del riu i el dels anys més recents, les seccions estan ben definides ja que s'han pogut consultar els plànols dels projectes dels endegaments i també han estat útils les diverses visites que s'han fet al riu. Per altra banda, obtenir informació per definir com eren les seccions transversals del riu abans que estigués endegat ha estat més complicat, sobretot pel que l'obtenció d'informació d'alçades (les amplades ha estat més senzill ja que es disposa de les imatges aèries històriques i de diversos plànols en planta del riu). En alguns casos ha calgut fer hipòtesis a partir de fotografies antigues del riu.



Figura 6.5: Fotografies del riu Llobregat a Sant Andreu de la Barca a principis del s.XX (fons fotogràfic de l'ajuntament de St.Andreu de la Barca). A l'imatge de l'esquerra l'aigua circula de dalt a baix. A la imatge de la dreta l'aigua circula d'esquerra a dreta. Aquestes fotografies han servit per interpretar que en aquesta zona on la llera del riu tenia una gran amplada (més de 200 m) hi havia una llera d'aigües baixes d'uns 60 m d'amplada i 1 m de profunditat.

En total s'han obtingut seccions transversals de tots els anys de les imatges aèries històriques analitzades, que coincideixen amb els anys que s'han utilitzat per fer l'estudi de l'amplada al·luvial (1946, 1956, 1965, 1974, 1981 i 2016). Fent una secció transversal tipus del riu per cada any, i cada un dels cinc trams en què s'ha dividit la zona d'estudi, fan un total de 28 seccions transversals (pel tram 1 no es té imatge aèria dels anys 1974 i 1981).

Una altra dificultat afegida ha estat que en un mateix any i dins un mateix tram d'estudi el riu pot tenir seccions molt diverses (a cause de meandres, rescloses, etc.). Les diferències eren més acusades abans de la realització dels endegaments ja que el riu tenia

molta més sinuositat. Llavors ha calgut adoptar la secció tipus per cada tram que sigui més representativa del conjunt de seccions disponibles.

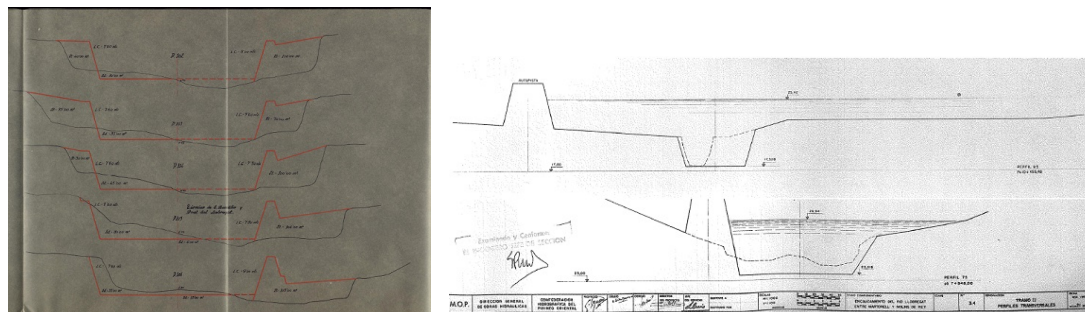


Figura 6.6: A l'esquerra seccions transversals d'un projecte per endegar el riu l'any 1946 a el Prat de Llobregat. A la dreta, projecte (any 1968) de excavació plantejada en les seccions del riu degut a la construcció de l'autopista a la zona de la Vall Baixa. Font: ANC.

A continuació es mostren les seccions transversals del Llobregat tram a tram de la zona d'estudi pels diferents anys. Per veure els límits de cada tram dins la zona d'estudi consultar Figura 3.1.

Tram 1

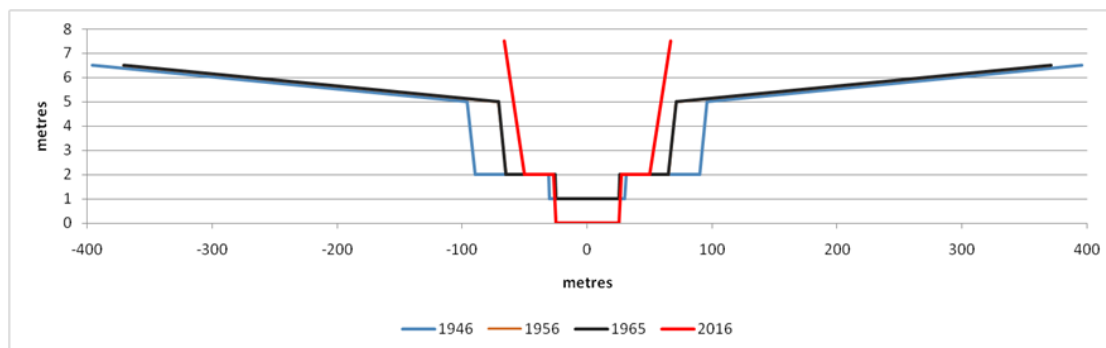


Figura 6.7: Tram 1. Seccions transversals mirant aigües amunt. Elaboració pròpia.

Els anys 1946, 1956 i 1965 el riu inundava les planes d'inundació quan arribava una avinguda important. El 2016 el riu està endegat i té una secció més estreta i molt més profunda (7,5 m vs 4 m).

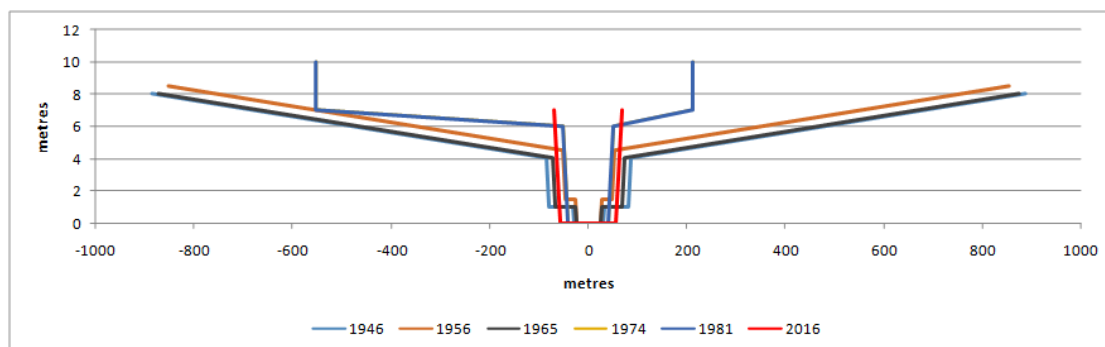
Tram 2

Figura 6.8: Tram 2. Seccions transversals mirant aigües amunt. Elaboració pròpia.

En aquest punt de la Vall Baixa el riu tenia abans de la construcció de l'autopista unes planes d'inundació a banda i banda de la llera de 800 m d'amplada que s'inundaven quan el calat superava els 4 metres. Amb la construcció de l'autopista la plana del marge esquerra va quedar limitada a 150 m degut al terraplè de l'autopista i es va fer una llera més profunda. L'any 2016, amb autopista a una banda i autovia i AVE a l'altra, l'aigua només pot circular per un canal trapezoïdal de 130 m d'amplada i 7 m d'alçada.

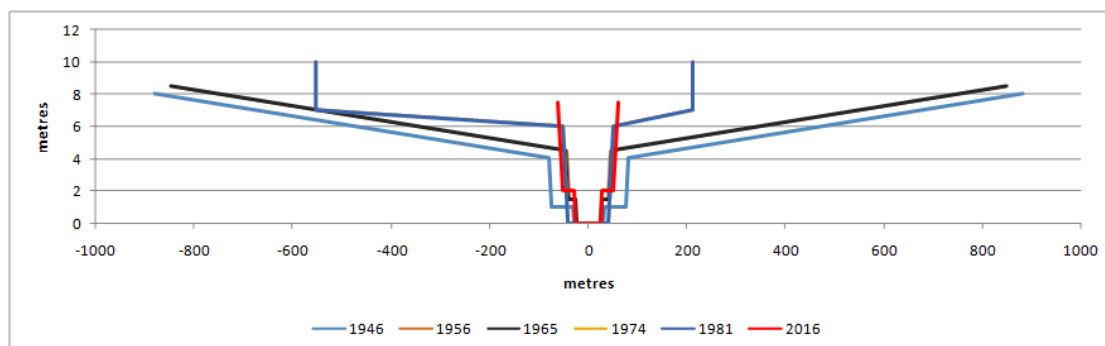
Tram 3

Figura 6.9: Tram 3. Seccions transversals mirant aigües amunt. Elaboració pròpia.

Característiques similars al tram anterior. S'observa la reducció d'amplada de la llera entre 1946 i 1956 passant de 150 m a 80 m degut a la presència de nous terrenys agrícoles prop del riu.

Tram 4

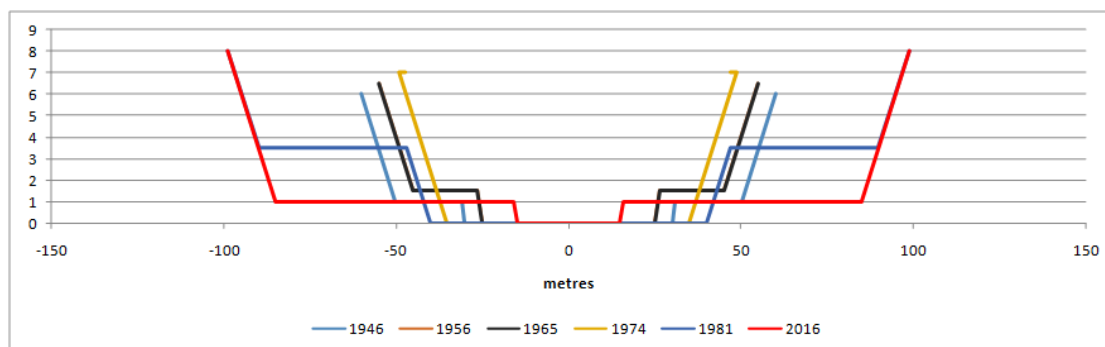


Figura 6.10: Tram 4. Seccions transversals mirant aigües amunt. Elaboració pròpia.

En aquest tram i en el següent, el riu passa pel Delta i no s'han dibuixat planes d'inundació ja que quan el riu omplia la llera i desbordava anegava grans extensions de terreny pla. L'any 1981 el riu ja no passa per la marrada de Cornellà i s'ha fet un endegament més ample i profund per augmentar la capacitat hidràulica i reduir el risc d'inundacions. L'any 2016 es manté l'amplada de la secció però s'han excavat els terraplens interiors a banda i banda de la llera d'aigües baixes per tal d'augmentar encara més la capacitat del riu.

Tram 5

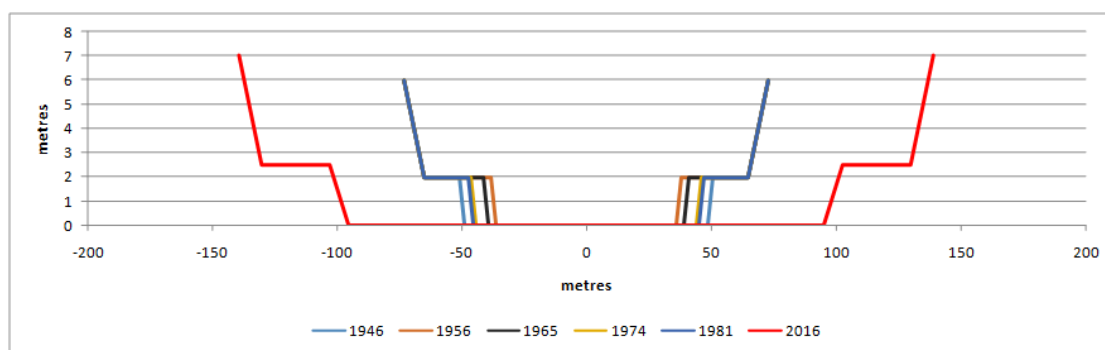


Figura 6.11: Tram 5. Seccions transversals mirant aigües amunt. Elaboració pròpia.

Abans de realitzar-se la desviació del Llobregat a la desembocadura la geometria de les seccions era molt similar pels diferents anys. La nova llera és el doble d'ample i 1 m més profunda. Si a aquest fet s'hi afegeix que el pendent de la nova llera és inferior encara es fa més palès els problemes de sedimentació que pateix aquest tram.

6.1.3 Extraccions d'àrids

Als rius de graves com el Llobregat, al llarg de la història sempre han estat una font de subministrament d'àrids per la seva població de ribera.



Figura 6.12: Extracció d'àrids de la llera del llit del riu Llobregat aigües avall del pont de les voltes a El Prat durant la dècada dels anys 30. A base de fer viatges al riu amb carros de trabuc i pales, representant un gran esforç físic tant per l'home com per l'animal que arrossegava el carro, s'extreien quantitats minses d'àrids (fins a 1 m^3) que no tenien gran afectació per l'ecosistema fluvial [10]. Fotografia del fons de la CUADLL cedida per l'Enric Queralt.

A partir de la segona meitat del s.XX, va créixer exponencialment la demanda d'àrids a la zona de Barcelona a causa del fort creixement urbanístic constructiu. Llavors de sobte una pràctica tradicional quasi manual, que feia segles que es duia a terme sense malmetre excessivament l'estat del riu, va esdevenir de caire industrial amb la utilització de gran maquinària.

No només s'extreia àrids del llit del Llobregat, sinó que també es van fer sots en molts camps de conreu de la Vall Baixa i del Delta, ja que se sabia que a pocs metres de fondària hi havia dipòsits de sorres i graves que el riu havia dipositat en el passat. S'extreia tot el material possible fins a arribar al nivell freàtic i posteriorment aquests es reomplien amb materials inerts, amb el risc evident de contaminació de l'aqüífer que aquesta acció suposava [16]. A partir del canvi de règim amb l'arribada de la democràcia la legislació va ser més estricta i aquesta pràctica es va anar aturant. Un exhaustiu treball realitzat per en Roger Lloret permet conèixer la localització, el volum i el material de rebliment

utilitzat, d'una cinquantena de sots d'extraccions d'àrids que es van realitzar entre els municipis de Pallejà i el Prat [11].

Com s'ha explicat en el Capítol 4, l'extracció en quantitat d'àrids de la llera d'un riu sempre acaba provocant l'efecte d'una incisió aigües amunt i aigües avall del punt de l'extracció. A més a més aquesta incisió de la llera és duradora en el temps ja que es pot seguir produint inclús dècades després que l'extracció d'àrids hagi finalitzat. Les extraccions d'àrids en punts fora de la llera provoquen molts impactes negatius però no afecten la morfologia del riu en el present.

Aprofitant les imatges aèries georeferenciades de diferents anys que s'han utilitzat en aquest treball (veure 5.3), quan es consultaven per tal de calcular l'evolució de l'amplada de la llera del Llobregat als diferents anys, en diversos punts de la zona d'estudi es van observar indicis clars d'extraccions d'àrids en llera. A la figura 6.13 es mostren la localització de tots els punts en què s'ha observat, mitjançant fotografies aèries, punts d'extraccions d'àrids a la llera del Llobregat.

A la zona d'estudi d'aquest treball es van produir grans extraccions d'àrids del propi llit del riu Llobregat sobretot durant la dècada dels anys 60 i 70. Aquestes extraccions van produir una alteració en el transport de fons que es va traduir en una erosió de la llera (incisió) i la disminució de sediments transportat pel riu fins la desembocadura. Malauradament no es disposa d'informació (fotografies, perfils transversals i perfils longitudinals) per poder quantificar aquests efectes.

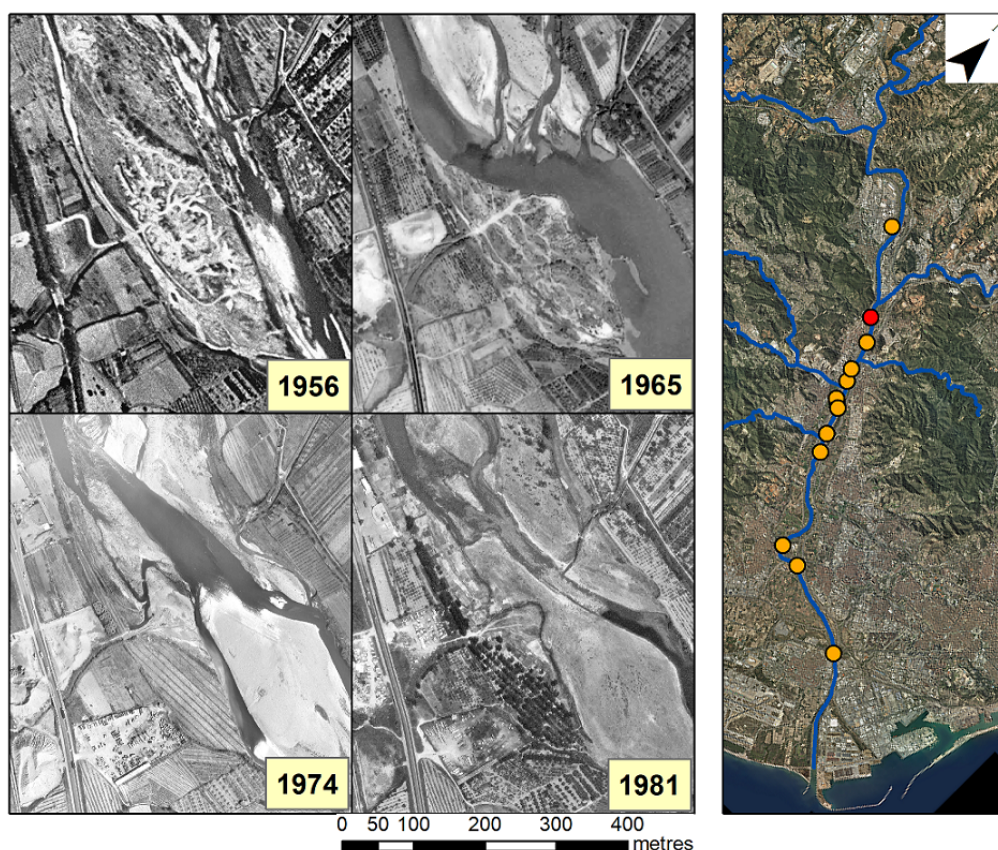


Figura 6.13: Evolució temporal de l'extracció d'àrids a la llera del Llobregat aigües avall de la resclosa de Capdevila (punt vermell). L'any **1956** s'observen caminets ramificats estrets per accedir a la llera i fan pensar en una extracció encara tradicional utilitzant carros de trabuc. El **1965** el camí és més ample i directe i s'observen dipòsits d'acumulació de material al costat de la carretera (esquerra de la imatge), El **1974** l'extracció està al punt àlgid: grans dipòsits acumulen el material extret a banda i banda de la carretera, es veu un aparcament amb maquinària pesada i fins i tot es pot observar roderes i camions sobre mateix de la barra al·luvial que forma el riu en aquest punt. L'any **1981** la imatge fa pensar que l'activitat és molt menor ja que els dipòsits de material acumulat han disminuït i s'observen menys rastres a la llera. Elaboració pròpia.

6.2 Canvis a la conca

Com s'ha explicat en el capítol 4, la morfodinàmica d'un riu no només depèn de les característiques de la seva llera, sinó també de les característiques de la seva conca. La morfologia d'un tram d'un riu es pot modificar a causa de certs canvis produïts molts quilòmetres aigües amunt en la seva conca.

Pel riu Llobregat en aquest capítol s'estudien dos canvis importants que s'han produït a la seva conca al llarg de l'últim segle, i com aquests poden haver influït en la morfodinàmica del riu i concretament en la morfodinàmica del seu curs baix.

Aquests dos canvis que s'estudien en la conca del Llobregat són la construcció d'embassaments i els usos del sòl.

6.2.1 Efecte dels embassaments

A la conca del Llobregat actualment hi ha tres embassaments (veure 2.3): dos a al riu Cardener (La Llosa del Cavall i Sant Ponç) i un al Llobregat (La Baells).

Aquests embassaments poden haver alterat la morfologia del tram baix del Llobregat de dues maneres diferents:

- Retenint sediment que s'acumula a l'embassament i no segueix aigües avall. Llavors la disponibilitat de sediment avall de la presa és molt menor que en la situació natural sense embassament.
- Regulació de cabals. Per qüestions de garantir el subministrament d'aigua per l'abastament a la població i laminació d'avingudes, el règim de cabals aigües avall de l'embassament està alterat i no coincidirà amb el règim hidrològic natural del riu.

6.2.1.1 Retenció de sediments

Els tres embassaments de la conca del Llobregat són una barrera infranquejable pel transport sòlid de fons. El sediment que el riu transporta i entra per la cua de l'embassament hi queda dipositat i no continua riu avall. Els trams dels dos rius immediatament aigües avall dels embassaments pateixen una reducció de la disponibilitat de sediments, fet que provoca un desequilibri longitudinal en forma d'incisió de la llera ¹. Ara bé, a la zona d'estudi d'aquest treball, situada a més d'un centenar de quilòmetres aigües

¹S'han realitzat treballs que confirmen aquesta causa-efecte immediatament aigües avall dels embassaments del Llobregat. Per exemple, els cabals generadors alliberats a La Llosa del Cavall provoquen una erosió de 1.16 m³ per metre lineal a la llera del Cardener en les seccions més properes a la presa [15].

avall dels tres embassaments, el transport de fons no es veuria afectat per la retenció de sediments que fan les preses.

El motiu és que la superfície de la conca del Llobregat regulada per embassaments és només del 16 % (veure Taula 2.2), per tant la resta de la conca podria seguir aportant el mateix sediment, i que la barrera dels embassaments provoca una anomalia en el transport de sediments que el riu va esmorteint progressivament aigües avall a mesura que va trobant més disponibilitat de sediment a la llera.

Aquesta afirmació no es pot justificar quantitativament ja que al Llobregat no es realitzen campanyes de mesura del transport de fons ni avui en dia ni es van fer abans de la construcció dels embassaments. I encara que s'haguessin realitzat aquestes mesures, degut a que moltes altres variables que també afecten al transport de fons han canviat, seria impossible poder atribuir quin grau de responsabilitat té la retenció de sediment als embassaments en els canvis de transport de fons.

Una manera entenedora de visualitzar el poc afecte que té la retenció de sediments als embassaments del Llobregat en la morfodinàmica del tram baix del riu i el seu delta, és comparant-ho amb el cas de la conca de l'Ebre. Com es pot observar a la Figura 6.14, gairebé tota la conca de l'Ebre està regulada per embassaments ja que n'hi ha es troben a prop de la desembocadura (Mequinença i Riba Roja). Es visualitza perfectament que la retenció de sediments als embassaments és la principal causa que explica el retrocés del Delta de l'Ebre, però no ho és pel cas del Delta del Llobregat. Per fer-nos-en una idea, l'Ebre seria com si el Llobregat tingués un embassament a Martorell.

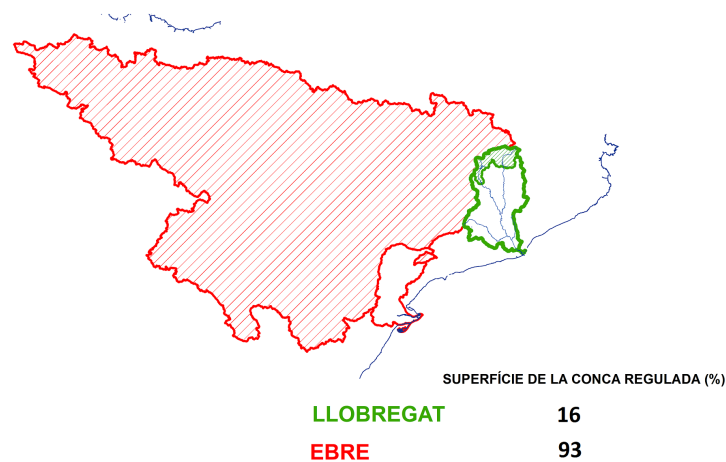


Figura 6.14: Comparativa del grau de regulació de les conques de l'Ebre i Llobregat. Elaboració pròpia

6.2.1.2 Regulació de cabals. Obtenció d'una corba de cabals classificats modificada

El cabal del riu afecta directament la seva morfologia ja que és el responsable d'activar el transport de fons si supera un valor llindar (inici del moviment). Els embassaments de la conca del Llobregat han modificat el règim de cabals del riu, no només en els trams just aigües avall de les preses sinó en tot el curs aigües avall fins a la desembocadura.

El règim de cabals es modifica pels cabals (entenent com a cabals alts els dels primers dies de la corba de cabals classificats) degut a la laminació de les avingudes que fan els embassaments, i pels cabals mitjans i baixos degut a l'alliberament d'aigua del pantans per garantir el cabal ecològic del riu i les demandes d'aigua de potabilitzadores i regants. Per l'estudi de la morfodinàmica del riu l'aspecte que ens interessa més és la modificació del cabals alts, ja que si els embassaments han alterat els cabals alts del riu Llobregat, també és possible que hagin alterat el transport de fons i la morfologia de la zona d'estudi d'aquest treball (des de passat Martorell al mar).

Per quantificar com han modificat el cabal del riu Llobregat els embassaments de la conca, s'han obtingut unes noves corbes de cabals classificats que simulen el règim de cabals que tindria el riu si no hi hagués cap dels tres embassaments de la conca i, per tant, el Llobregat fos un riu no regulat. Aquestes corbes de cabal classificat s'han obtingut en dos punts del curs del riu: l'estació d'aforament de Castellbell i el Vilar (CST) i la de Sant Joan Despí (SJD) ².

Les corbes de cabals classificats no s'han obtingut de la manera més comuna que és a partir de cabals mitjos diaris, sinó a partir de cabals mitjos horaris. El motiu d'aquest canvi és que amb cabals mitjos diaris els pics de les crescudes no queden reflectits i sense aquests el càlcul de la capacitat de transport de fons quedaria molt infravalorada (el transport de fons és molt no lineal respecte el cabal).

Per obtenir aquestes corbes de cabals classificats s'ha utilitzat les següents sèries de dades que han estat proporcionades per l'ACA:

- Dades diàries del volum d'aigua embassat de la Baells, La Llosa del Cavall i Sant Ponç. Període: gener 1999- juny 2018

²L'estació de Castellbell i el Vilar està just aigües avall de la confluència del Llobregat i el Cardener. És una estació en funcionament des del 1912 i l'ACA la considera la millor de la xarxa. La de Sant Joan Despí, situada a 10 km de la desembocadura, per situació és la més representativa del cabal que porta el riu a la zona d'estudi d'aquest treball. Està en funcionament des de 1968 però té mesures intermitents i per cabals alts les seves mesures no són gaire fiables [1]

- Mesura de cabal en intervals de 5 minuts de l'estació d'aforament de Castellbell i el Vilar. Període: gener 1999- juny 2018
- Mesura de cabal en intervals de 5 minuts de l'estació d'aforament de Sant Joan Despí. Període: gener 2002- juny 2018 (del 1999 al 2002 no tenim dades d'aquesta estació)

L'últim embassament construït a la conca (veure Taula 2.2) va entrar en funcionament l'any 1999. Per aquest motiu les sèries de dades requerides comencen aquest any en concret.

Els passos que s'han seguit per poder quantificar l'efecte regulador de cabals dels embassaments de la conca s'explica en el següent paràgraf.

Primer s'obtenen les variacions diàries de volum embassat de cada embassament i s'assumeix que la variació entre dies consecutius és lineal. Llavors es pot obtenir aquesta variació en forma de cabal (m^3/s), que serà positiva si el volum embassat ha augmentat i negativa si ha disminuït. Si la variació és positiva és un cabal d'aigua que si no hi hagués embassament hauria circulat riu avall i per tant s'ha de sumar als valors mesurats per les estacions d'aforament. Si és negativa és un cabal que el riu no portaria i per tant s'ha de restar. Com que si l'embassament s'omple la variació ja és un valor positiu i si es buida negatiu, només cal fer una suma algebraica. Un altre aspecte a considerar és que el cabal triga unes hores a circular des dels embassaments fins a les estacions d'aforament, per tant, les variacions dels embassaments d'una hora x , no es poden sumar als valors de cabal mesurats de les estacions d'aforament de l'hora x , sinó de l'hora $x + i$ on i té 2 valors per cada embassament (un pel temps fins CST i un fins SJD)³. La Figura 6.15 ajuda a entendre aquesta idea i mostra els temps de trànsit entre els embassaments i les estacions d'aforament.

Quan es va desenvolupar aquesta idea va sorgir el dubte de si només tenint dades del volum embassat és suficient i si calia també disposar de les dades del cabal de sortida dels embassaments. El dubte es plantejava en una situació d'avinguda en què tenim l'embassament ple i per tant no hi ha variació de volum i aquest allibera grans quantitats d'aigua pel sobreexidors. Però la resposta va ser que no eren necessaris. Només amb les dades de volum embassat és suficient ja que el cabal alliberat pels embassaments ja s'acaba reflectint en les mesures de cabal fetes a les estacions d'aforament⁴.

³Aquests valors s'han obtingut gràcies a un gràfic publicat per l'ACA que mostra l'evolució del cabal del Llobregat en diferents estacions de la conca durant una crescuda del mes de maig del 2018.

⁴En l'exemple descrit d'avinguda i l'embassament ple alliberant l'aigua, l'hidrograma de la crescuda que li arriba triga més temps a sortir aigües avall que si no hi fos l'embassament. Però corregir aquest aspecte seria més complicat i tampoc tindria gaire incidència en el resultat obtingut.

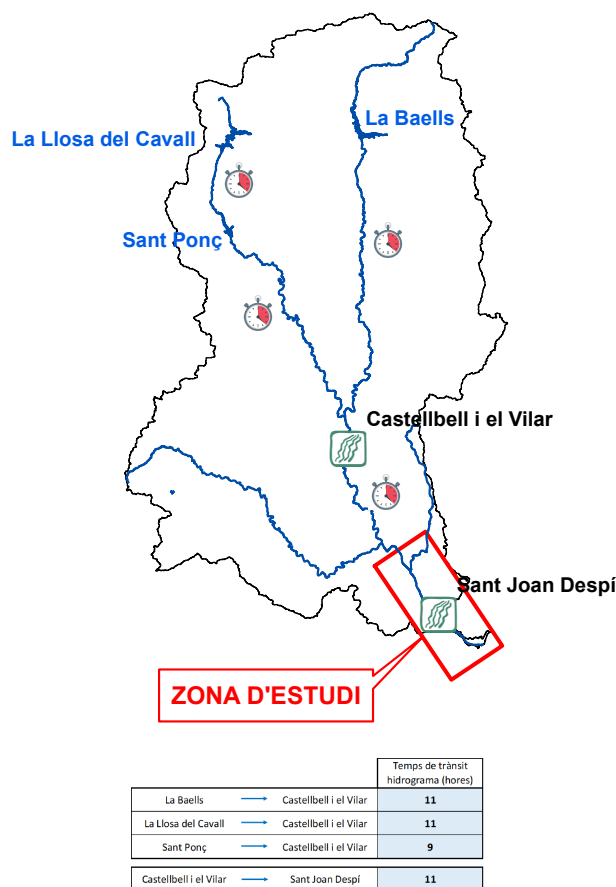


Figura 6.15: Esquema de la situació dels embassaments de la conca del Llobregat i les estacions d'aforament. Es mostra els temps que s'han utilitzat per desfasar les variacions dels embassaments respecte els cabals aforats al riu.

Tractament de les sèries de dades. Correcció d'errors

Les dades dels embassaments i els aforaments són obtingudes mitjançant estacions automàtiques que poden cometre errors de mesura, i més tenint en compte la quantitat de valors d'aquestes sèries. Per exemple, la sèrie de dades de cabals de l'estació de CST (mesures en intervals de 5 minuts) té 2.144.198 mesures.

El problema principal de les dades de les estacions d'aforament han estat dos: pics de cabal erronis ("soroll") i valors 0. Els primers s'han hagut de revisar un a un i eliminar si s'observava que era un pic puntual i que els valors anteriors i posteriors són semblants; els segons s'han eliminat i substituït per valors nuls ja que el Llobregat en el

període 1999-2018 no ha tingut cabal 0 en cap moment (hi ha embassaments a la conca i hi ha 2 grans ETAP's que capten aigua del riu per l'abastament de milions de persones (s'explica al punt 2.1)).

Les sèries dels embassaments tenen menys valors (una dada per dia) i l'error més comú han estat salts sobtats d'un dia per l'altra que no s'ajusten a la tendència de l'evolució del volum embassat (Figura 6.16). És important corregir aquests casos perquè distorsionen les variacions de cabal i acaben afectant als resultats.

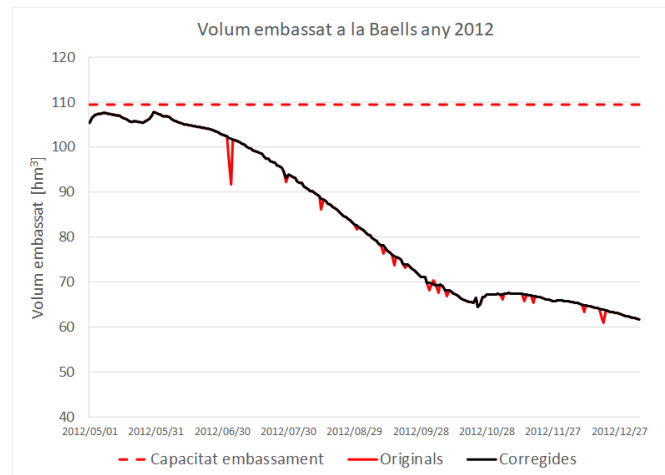


Figura 6.16: Comparació de les dades originals i les corregides del volum embassat a la Baells l'any 2012. Els alts i baixos d'un dia per l'altra que tenen les dades originals són errors de mesura.

Resultats

Analitzant les dades dels embassaments s'ha vist que els embassaments tenen comportaments diferents pel que fa la regulació:

- La Baells: és l'embassament que lamina més crescudes i més regulador dels tres ja que és el de major capacitat i el que regula més superfície de conca (veure Taula 2.2). Té alguns episodis en què l'increment de volum diari equival a un cabal superior a $100m^3/s$. Els màxims descensos de volum no superen l'equivalent a $20m^3/s$.
- La Llosa del Cavall: els increments de volum màxims equivalen a un cabal de $50m^3/s$. Els descensos pràcticament no superen els $10m^3/s$.

- Sant Ponç: no fa regulació de cabals. El seu volum es manté sempre molt estable i amb pocs canvis. Es pot dir que el cabal d'aigua que li entra és el que en surt. És l'embassament més petit del tres.

Pel que fa al cabal del riu, primer de tot comentar que fent una corba de cabals classificats amb cabals mitjos horaris de les dades mesurades de les dues estacions d'aforament, els resultats ja són moderadament diferents que la corba amb cabals mitjos diaris (Figura 6.17).

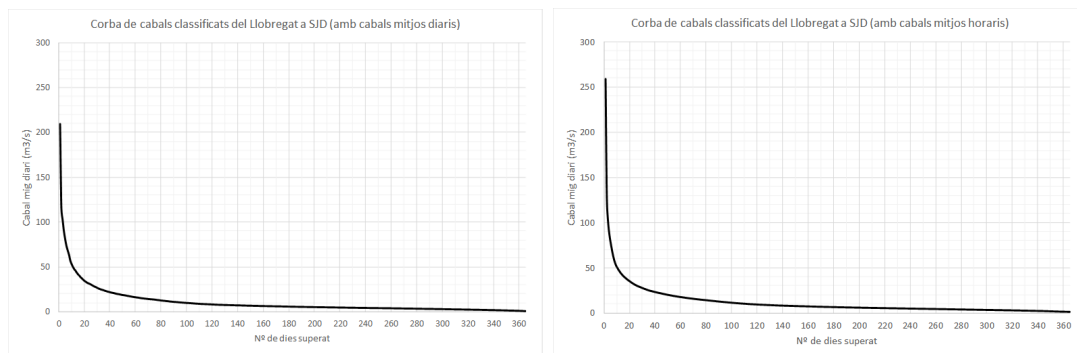


Figura 6.17: Corbes de cabals classificats del Llobregat a Sant Joan Despí en el període 2002-2018. A l'esquerra obtinguda utilitzant cabals mitjos diaris, a la dreta amb cabals mitjos horaris. El cabal del dia 1 d'aquesta última és $50m^3/s$ superior.

Combinant les dades de les estacions d'aforament i dels embassaments s'ha obtingut una corba de cabals classificats modificada que representa com seria el Llobregat en l'actualitat sense embassaments a la conca (Figura 6.18).

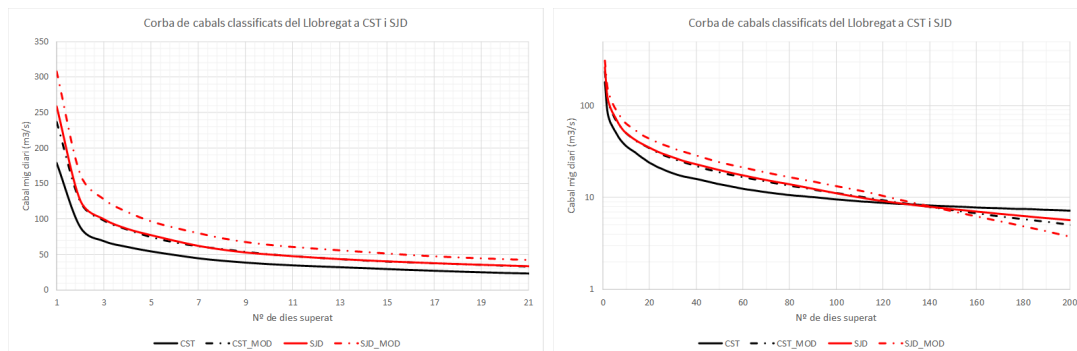


Figura 6.18: Corbes de cabals classificats modificades (línia discontinua) comparades amb les originals a les estacions de CST i SJD. A l'esquerra visualitzant els primers dies de la corba (cabals alts), a la dreta visualitzant més dies i amb escala logarítmica a l'eix d'ordenades.

Els resultats són molt interessants. Per les dues estacions la corba de cabals classificats modificada està per sobre de la real fins al voltant del dia 130 (una mica menys de mig any). A partir de llavors, la modificada està per sota l'original. Pels cabals més alts la modificada és $50m^3/s$ superior a l'original. De $259m^3/s$ es passa a $308m^3/s$ a Sant Joan Despí, i de $179m^3/s$ es passa a $236m^3/s$ a Castellbell i el Vilar.

Per poder veure més bé les diferències entre les dues corbes, a continuació es mostra un gràfic en què es divideixen les dues i permet extreure conclusions interessants.

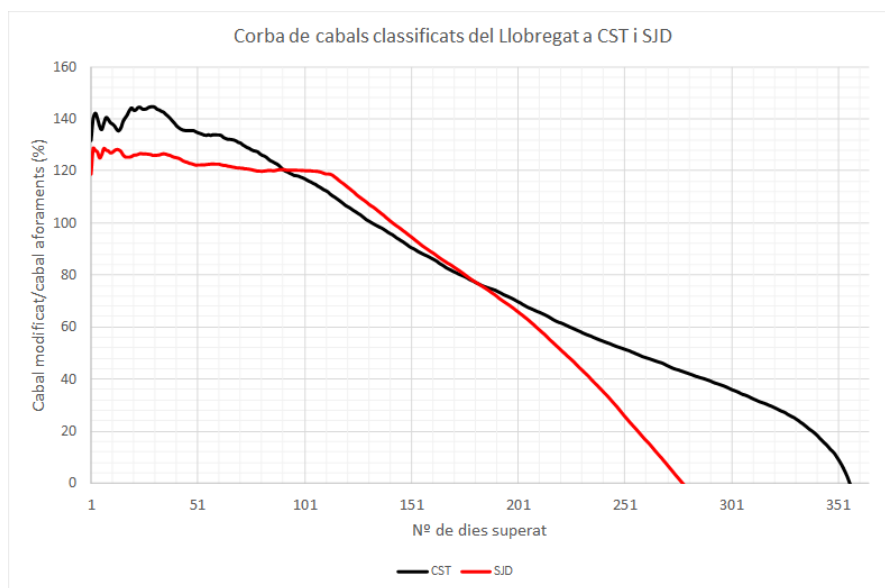


Figura 6.19: Gràfic del quocient (en %) de la corba de cabals classificats modificada respecte l'original per les estacions de CST i SJD.

Pel cabals alts, sense els embassaments el cabal del riu seria un 20% superior a Sant Joan Despí i un 40% a Castellbell i el Vilar. Com més a prop dels embassaments, la seva influència és major. També pels cabals alts (primers dies de la corba) és interessant el fet que la forma de la corba sigui plana (més en el cas de SJD que CST) i no segueixi el pendent que té a continuació. Això vol dir que l'influència relativa dels embassaments en el cabal del riu és la mateixa pel dia de cabal més alt de l'any (dia 1) que pel 50è. És interessant perquè ve a dir que proporcionalment, en les crescudes més importants de l'any els embassaments tenen un paper regulador similar al que tenen en cabals molt més baixos (a SJD $Q_1 = 308m^3/s$, $Q_{50} = 24m^3/s$). La causa pot ser degut a que la capacitat dels embassaments de la conca és relativament petita (són de regulació anual) i que regulen un percentatge petit de la conca.

Pels cabals baixos els resultats que s'han obtingut no són bons ja que caldria afegir-hi l'efecte de les captacions d'aigua que es fan al curs del riu entre els embassaments i les estacions d'aforament, sobretot per l'estació de Sant Joan Despí ja que les grans captacions són aigües avall de Castellbell. Seria necessari fer una altra petició a l'ACA requerint les sèries de dades en el mateix període de totes aquestes captacions. Com que pels objectius d'aquest treball interessin els cabals alts no ha estat necessari fer-hi (pels cabals alts el pes dels cabals captats és molt petit respecte el cabal que porta el riu).

Com a conclusió d'aquest apartat, s'ha demostrat que sense els embassaments el Llobregat seria un riu més irregular ja que en crescudes els cabals serien més alts (entre un 20 i un 40% més) i en períodes secs serien més baixos. Al Capítol 7 s'estudia quin efecte té en el transport sòlid del curs baix del Llobregat aquesta reducció de la magnitud dels cabals alts degut als embassaments de la conca.

Per últim recordar que aquests resultats s'han obtingut mitjançant dades del 1999 al 2018 per l'estació de Castellbell, i de 2002 a 2018 per la de Sant Joan Despí. No és una sèrie de dades curta però per poder prendre conclusions més segures s'hauria d'allargar. Seria interessant anar actualitzant els pròxims anys aquest estudi de l'efecte regulador dels embassaments al Llobregat, ja que com més llarga sigui la sèrie de dades utilitzada més robustos seran els resultats.

6.2.2 Usos del sòl

Per poder avaluar els canvis d'usos del sòl que ha experimentat la conca del Llobregat s'utilitzen els mapes de cobertes del sòl que elabora el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Per conèixer els canvis que s'han produït es compara el mapa del 2009 amb el del 1956. El del 1956 és el més antic que es disposa i està elaborat a partir del vol que l'exèrcit de l'aire americà va realitzar fotografiant tota la península Ibèrica. El mapa del 2009 cobreix tot Catalunya però el del 1956 es limita a la província de Barcelona (va ser un encàrrec de la diputació). Per sort però, excepte la part alta del Cardener que pertany al Solsonès (província de Lleida), la resta de la conca del Llobregat pertany a la província de Barcelona i està inclosa en el mapa del 1956.

Els mapes del CREAF ofereixen els resultats en diversos nivells de categories. S'ha utilitzat el nivell 1, que és el que utilitza menys categories per facilitar la comprensió. Són quatre categories: aigües continentals, boscos, conreus i improductiu urbà (zones urbanes). A continuació es mostren els resultats que s'han obtingut pel global de la conca del Llobregat. Veure Figura 6.20 i Taula 6.4.

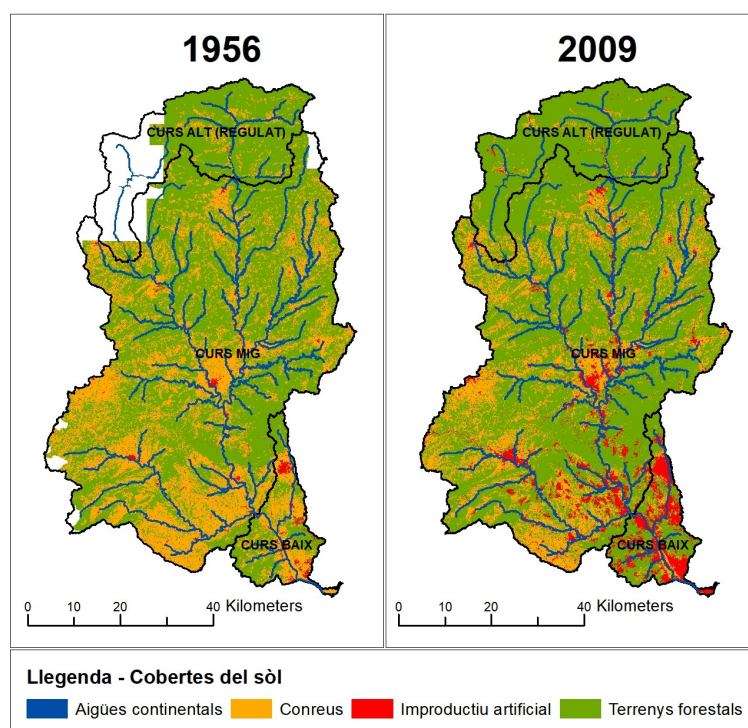


Figura 6.20: Mapa de cobertes del sòl de la conca del Llobregat el 1956 (esquerra) i el 2009 (dreta). Elaboració pròpia a partir de mapes del CREAF utilitzant el nivell 1)

Taula 6.4: Comparació dels usos del sòl de la conca del Llobregat (i sub-concques) entre els anys 1956 i 2009. S'utilitza el nivell 1 del mapa del CREAf. Els resultats de la conca Cardener-regulat no són representatius

	Percentatges									
	Conreus			Improductiu artificial (Urbà)			Terrenys forestals			Superfície
	1956	2009	(%)	1956	2009	(%)	1956	2009	(%)	[km2]
Llobregat_regulat	12	4	-69	1	1	76	88	95	8	504
Cardener_regulat	24	18	-25	1	2	149	75	79	6	68
CURS REGULAT	13	5	-64	1	1	85	86	93	8	572
Merlès	17	11	-32	0	1	67	83	87	6	152
Gavarresa	34	26	-22	1	3	174	65	71	9	452
Calders	30	18	-38	1	4	310	69	78	12	176
Cardener_NOregulat	32	24	-24	1	4	186	67	72	8	1,044
Llobregat_MIG	34	19	-43	2	10	527	64	71	10	960
Anoia	54	38	-29	1	8	422	44	54	22	877
CURS MIG	37	26	-31	1	6	331	61	68	12	3,663
Rubí	45	9	-79	8	43	412	47	48	2	124
Cervelló	29	3	-90	2	30	1,183	68	68	-1	56
Llobregat_BAIX	46	9	-80	6	34	496	47	56	18	163
CURS BAIX	43	8	-81	6	37	579	51	55	9	343
TOTAL CONCA LLOB	35	22	-37	2	8	386	64	70	10	4,578

Els resultats evidencien que del 1956 al 2009 s'incrementen la superfície de boscos i zones urbanes i es redueix l'extensió de conreus. Si s'analitza els resultats pel curs regulat, mig i baix es troben particularitats:

- **Curs regulat:** els boscos ocupen més del 90% del sòl i del 1956 al 2009 s'han incrementat. Els conreus estan en segon lloc i al 2009 han patit una reducció de més del 60% respecte la superfície que ocupaven el 1956. Es produeix un creixement del sòl urbà però segueix sent molt minoritari.
- **Curs mig:** el bosc també és majoritari (superior al 60%) i augmenta. Els conreus tenen més protagonisme que al curs regulat i també disminueixen però amb menys mesura. La superfície urbana es multiplica per 6 però segueix representant menys del 10%
- **Curs baix:** del 1956 al 2009 el canvi és abismal degut al creixement molt important del sòl urbà. El 1956 els conreus ocupaven gairebé la meitat del terreny i el 2009 passen a representar menys del 10%. El sòl urbà passa de ser minoritari a ocupar gairebé el 40%. Els boscos s'incrementen lleugerament del 1956 al 2009 i es mantenen com a ús del sòl predominant.

A continuació es mostra un gràfic tipus sankey que permet visualitzar no només la informació dels dos anys, sinó també entendre com han estat els canvis.

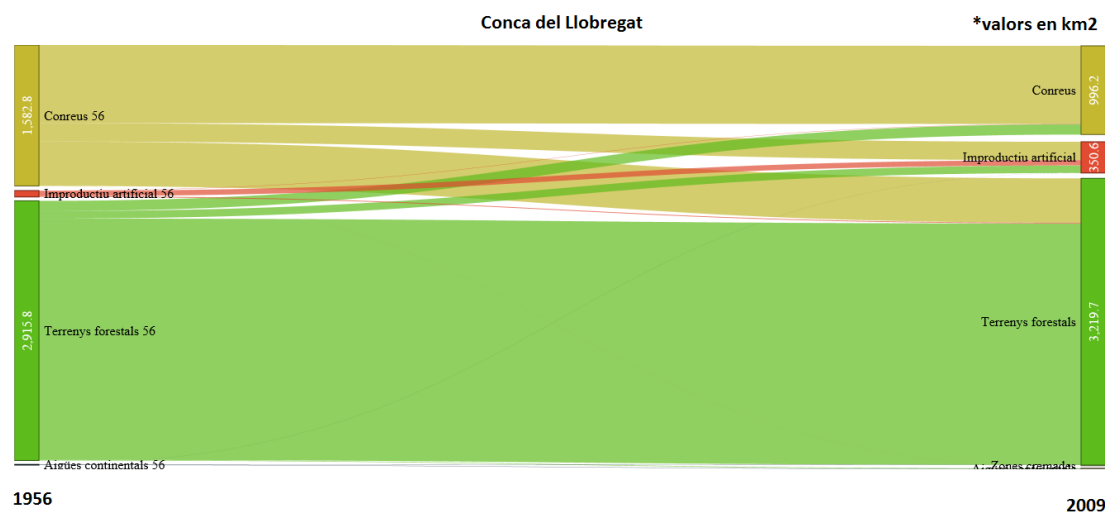


Figura 6.21: Evolució dels usos del sòl del 1956 al 2009

La figura anterior mostra que els canvis principalment s'han produït degut a la reducció dels conreus. Per una banda al curs mig i al curs regulat s'ha produït una substitució de conreus per boscos degut a les migracions del camp a la ciutat i l'abandó de pastures. En canvi al curs baix, a prop de les grans ciutats, els conreus s'han vist substituïts per zona urbana degut al creixement de població en aquestes zones i de l'augment de l'activitat econòmica (més polígons i infraestructures).

Per entendre millor com han estat les dues tipologies de canvis que s'han produït a la conca (augment de terreny forestal i augment de zona urbana) i les implicacions que tenen aquests canvis en la morfodinàmica del Llobregat a la zona d'estudi (tram baix), a continuació es tracta amb més detall la variació dels usos del sòl en dues zones amb característiques i tendències totalment diferents: la capçalera del Llobregat i la conca de la riera de Rubí.

Capçalera del Llobregat

Per entendre millor què ha succeït a la capçalera del riu, on amb el nivell 1 utilitzat prèviament el 90% del sòl es qualifica com a forestal, es comparen els mapes de cobertes del sòl utilitzant el nivell 1F del CREAM. Aquest nivell té 9 categories 6 de les quals són subdivisions de la categoria de terrenys forestals del nivell 1.

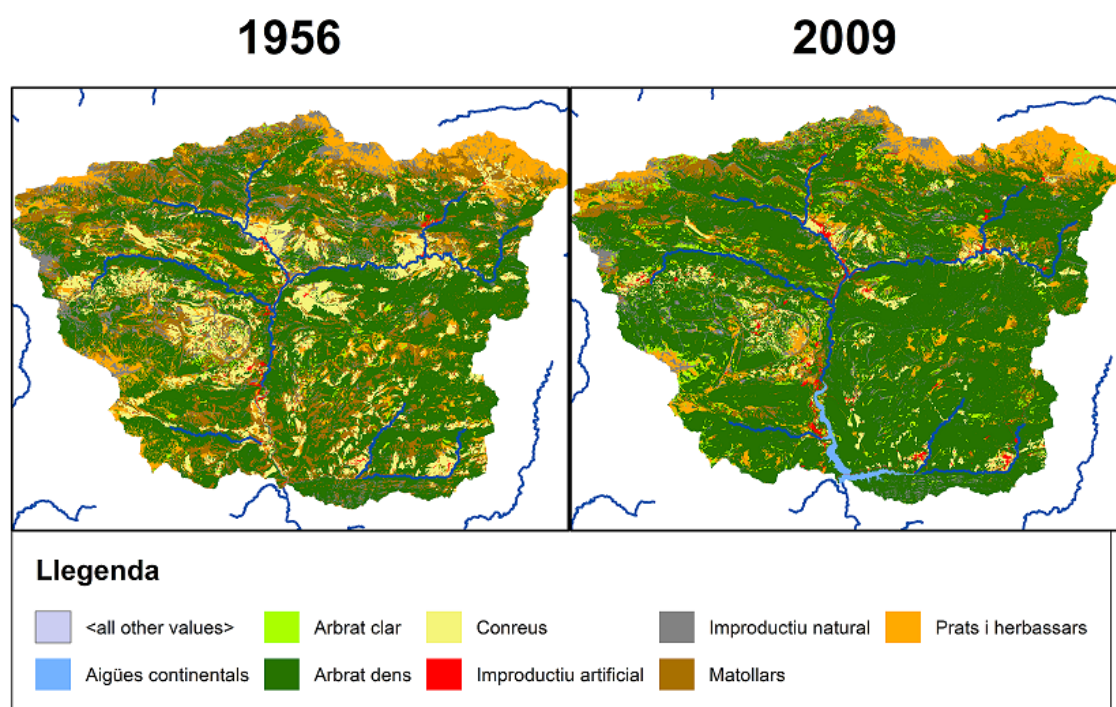


Figura 6.22: Evolució dels usos del sòl a la capçalera del Llobregat entre el 1956 i el 2009

Els mapes de la Figura 6.22 mostren més clarament què ha passat a la capçalera. A les valls i les zones de mitjana altitud s'ha produït una substitució de conreus per arbrat dens. A la mitja muntanya i l'alta muntanya hi ha hagut una substitució equivalent però amb matollars i prats i herbassars.

Les causes d'aquest canvi poden ser diverses però diversos autors apunten que la principal ha estat l'abandonament progressiu de la gestió forestal del particulars degut a la pèrdua de valor energètic de la fusta a causa de l'aparició de l'electricitat i a les migracions de muntanya a ciutat [8].

El que si està clar és com afecten aquests canvis d'usos del sòl al riu. El fet de la substitució de conreus i pastures per boscos té dues conseqüències principals:

- Reducció del cabal. Els boscos retenen més l'aigua que els conreus i redueixen la infiltració i l'escolament. Per tant es produeix una disminució del cabal mitjà i de les crescudes.
- Reducció dels sediments que arriben a la llera. Afectarà tant al transport en suspensió com al de fons (més rellevant de cara a la morfodinàmica del riu).

Aquestes afirmacions van en la línia de les conclusions assolides en altres treballs que han estudiat com han afectat la pèrdua de conreus i pastures en el cabal dels rius. Per exemple, un treball del LIFE MEDACC que ha estudiat la conca alta del riu Ter (veïna del Llobregat i que per tant ha patit canvis similars), conclou que el cabal del riu a Ripoll s'ha reduït un 42 % des de la dècada dels anys setanta degut principalment a l'augment de la massa forestal i en menor mesura a la reducció de les precipitacions pel canvi climàtic [21].

Conca de la riera de Rubí

A la conca de la riera de Rubí s'hi ha produït un creixement urbanístic molt rellevant (veure Figura 6.23).

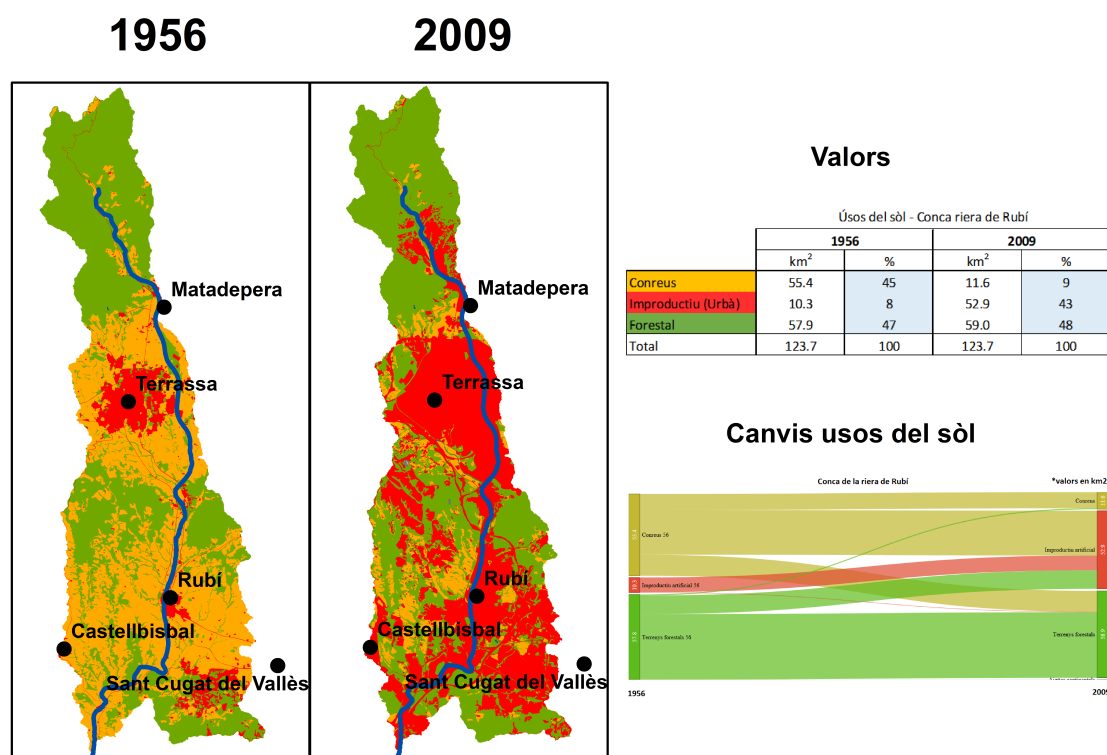


Figura 6.23: Evolució dels usos del sòl a la riera de Rubí entre el 1956 i el 2009

Aquest creixement urbanístic de la conca ha provocat uns impactes en la morfologia de la riera molt destacables que han estat estudiats [13]. La llera de la riera ha sofert un desequilibri longitudinal que s'ha manifestat en una incisió general molt important amb valors que, des del 1962 fins a l'actualitat (2008), en alguns punts són superiors

als 5.5 m (veure Figura 6.24). En aquests estudis també s'apunta que la causa principal d'aquest desequilibri és el fort creixement urbanístic que s'ha produït a la conca des de la dècada dels anys seixanta del s.XX.



Figura 6.24: Confluència de la riera de Palau (esquerra) i la riera de les Arenes (dreta) a Terrassa (d'aquest punt a aigües avall s'anomena riera de Rubí). D'esquerra a dreta i de dalt a baix, el mateix punt l'any 1963, 1990, 2006 i 2018. Impressiona que tot i la quantitat d'estructures de formigó que s'han anat construint progressivament, la incisió no cessa. El motiu és que no és un fenomen puntual d'aquest indret que es pugui aturar amb estructures defensives. És un fenomen general, provocat per causes antropogèniques i que no parlarà fins que la riera assoleixi un nou equilibri longitudinal. Autor fotografies: Juan P. Martín Vide.

Aquesta riera també és tristament famosa pels aiguats del setembre del 1962 que van deixar centenars de víctimes mortals. Va ploure 200mm en només 2 hores. És fàcil imaginar a partir dels mapes de la Figura 6.23 que si es produís en l'actualitat el mateix aiguat, el cabal de la riera seria molt superior ⁵.

⁵Si es produís en cap cas hi hauria les víctimes que hi va haver el 1962. En l'actualitat la vulnerabilitat és molt menor, tenint en compte que en aquella època hi havia habitatges al mateix lloc de la riera.

Afectació al curs Baix del Llobregat

Els canvis dels usos del sòl que s'han explicat detalladament en aquest apartat afecten el riu a la zona d'estudi d'aquest treball. Valorar aquests canvis quantitativament no és possible, però si que es poden valorar qualitativament diferències entre el 1956 i l'actualitat i extreure unes conclusions:

- Pel que fa al cabal del riu hi ha dues consideracions. El cabal mig haurà disminuït a causa de l'increment de la massa forestal de la conca (+evapotranspiració, -infiltració, - escolament superficial). El cabal de les grans avingudes és incert i dependrà de les característiques de l'episodi de precipitació: en episodis de precipitació general que afecti tota la conca (tipus novembre 1982) el cabal seria menor per la major superfície de massa forestal; en episodis locals i convectius centrats a la part baixa del riu (tipus juny 2000 o setembre 1962) el cabal seria més gran i amb menor temps de resposta degut a la urbanització d'aquesta part de la conca.
- El subministrament de sediments (disponibilitat) que entra al tram d'estudi seria menor. El motiu és que l'aigua té més facilitat per erosionar material dels conreus i transportar-lo als cursos fluvials, que dels boscos o zones urbanes.

Capítol 7

Canvis en la capacitat de transport sòlid de fons

En aquest capítol es calcula la capacitat de transport sòlid de fons del Llobregat en dos escenaris diferents: un any normal (utilitzant la corba de cabals classificats) i en un episodi de crescuda important (s'utilitza un hidrograma). S'obtenen resultats pels cinc trams en què s'ha dividit el curs baix del riu i es comparen els resultats obtinguts de diferents anys poder conèixer de quina manera les transformacions que ha patit el riu han afectat la seva capacitat de transport sòlid. Els resultats obtinguts són pels anys 1946, 1956, 1965, 1974, 1981 i 2016.

Els càlculs es fan aplicant una sèrie de simplificacions i hipòtesis necessàries per poder abordar el problema. Per aquest motiu no és tan interessant el valor numèric exacte de la capacitat de transport de sediments que s'obté, sinó les diferències relatives entre els resultats dels diversos anys.

Els resultats permeten estimar quin impacte han tingut en la capacitat de transport de fons del riu les transformacions que ha patit la llera (canvis de secció transversal) i l'efecte de regulació de cabal dels embassaments de la conca (ja que es comparen els resultats utilitzant la corba de classificats original i la modificada).

7.1 Metodologia i hipòtesis

Pel càlcul de la capacitat de transport de fons s'ha utilitzat la fórmula de Meyer-Peter i Müller modificada per Wong i Parker [20]. Aquesta fórmula, que proporciona el cabal sòlid unitari, també s'utilitza en l'estudi sobre la dinàmica fluvial del riu Llobregat entre

la confluència de la riera de Rubí i Sant Boi [19]. D'aquesta manera són més fiables les comparacions que es puguin fer dels resultats obtinguts.

Per simplificar el problema s'utilitzen les fórmules del règim uniforme de Manning i un coeficient de rugositat uniforme per tota la secció. Per tant els càlculs hidrodinàmics, que són intermediaris per obtenir una comparació de la capacitat de transport del riu, no són acurats per tenir una idea precisa de la hidrodinàmica del riu.

La informació necessària per obtenir els resultats és: cabal, geometria de la secció, rugositat de la secció, pendent longitudinal, granulometria del sediment i amplada al·luvial de la llera.

El procediment per obtenir els resultats és el següent:

1. S'utilitza la fórmula de Manning per obtenir la relació cabal-calat de cada secció transversal.
2. Càlcul de la tensió de fons (τ)

$$\tau = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

3. Càlcul de la tensió de fons adimensional (τ') a partir del diàmetre del sediment (D).

$$\tau' = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) \cdot D}$$

4. Si $\tau' > 0.0495$ es supera el llindar d'inici del moviment i el riu té capacitat per tenir transport de fons
5. Càlcul del transport sòlid unitari adimensional q_s^* utilitzant la fórmula de M.P.M modificada per Wong i Parker [20]

$$q_s^* = 3.97 \cdot (\tau' - 0.0495)^{\frac{3}{2}}$$

6. Càlcul del transport sòlid unitari q_s

$$q_s = q_s^* \cdot \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot g \cdot D^3 \right)^{\frac{1}{2}}$$

7. Càlcul del transport sòlid Q_s multiplicant el transport sòlid unitari per l'amplada alluvial (B)

$$Q_s = q_s \cdot B$$

7.2 Informació necessària pel càlcul del transport de fons

Geometria de les seccions transversals

S'han utilitzat les 28 seccions transversals diferents (5 per cada any excepte pels anys 1974 i 1981 que en tenen 4) que es defineixen en l'apartat 6.1.2.

Cabal

Es calcula la capacitat de transport sòlid del riu al llarg d'un any normal i en una avinguda important:

- Pel transport al llarg d'un any s'utilitzen les corbes de cabals classificats del Llobregat a SJD que s'han calculat a l'apartat 6.2.1.2. Pels anys 1946, 1956 i 1965 s'utilitza la corba de cabals classificats modificada, que representa el règim natural del riu. Pels anys 1974, 1981 i 2016 la corba de cabals classificats original, que té en compte l'efecte dels embassaments.
- Pel càlcul de la capacitat de transport sòlid en una avinguda s'utilitza l'hidrograma de l'avinguda del 25 de setembre del 1962. Va ser una crescuda amb un cabal punta important però de curta durada (menys d'un dia).

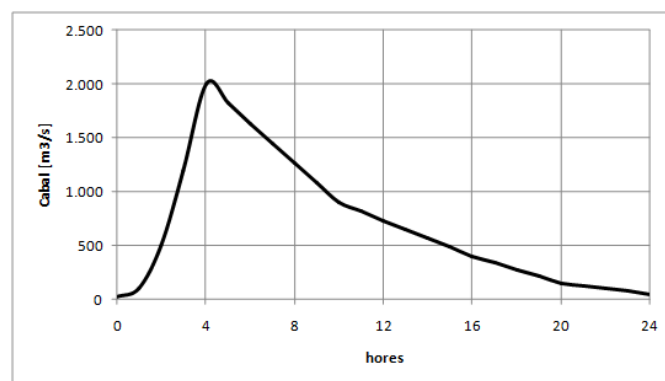


Figura 7.1: Hidrograma de l'avinguda del Llobregat del 1962 a Martorell [17].

Pendent longitudinal del riu

A partir dels diferents projectes i estudis històrics consultats s'ha pogut conèixer el pendent longitudinal del Llobregat per cada un dels cinc trams en diferents èpoques

Taula 7.1: Evolució del pendent longitudinal del Llobregat al llarg dels diferents anys

pendent longitudinal del riu					
any	tram				
	1	2	3	4	5
1946	0,0018		0,0017	0,001	0,00032
1956					
1965					
1974	0,00137	0,00171			
1982	0,0018	0,0018	0,0016	0,0009	
2016	0,0021	0,0021	0,0012	0,0009	0,00015

Granulometria

La granulometria s'ha considerat que no ha canviat al llarg dels anys. És una hipòtesis raonable ja que encara que la quantitat de material al·luvial disponible disminueixi en quantitat, les seves característiques granulomètriques poden seguir sent les mateixes. La informació referent a les característiques granulomètriques s'han obtingut d'un treball de l'escola de camins de l'any 2003 ([2]) i d'un estudi sobre l'estat de la nova desembocadura del riu ([9])

Taula 7.2: D_{50} i D_m utilitzats pel càlcul de la capacitat de transport de fons

Granulometria					
	tram				
	1	2	3	4	5
D50 (mm)	9,4	11,7	12,3	4,9	0,61
Dm (mm)	21,4	15,4	17,4	8	0,71
Font:	1	1	1	1	2

1: [2]

2: [9]

Rugositat

La rugositat de la llera d'un riu depèn de molts factors. Principalment, la mida del sediment del llit del riu, les característiques de la vegetació/bosc de ribera i la

presència de qualsevol tipus d'obstacle que pugui dificultar el flux de l'aigua. A partir de l'observació feta durant les visites de camp es podria fer una bona estimació de la rugositat del riu en l'actualitat, però manca informació per poder fer una estimació de com era la rugositat en els altres anys que s'estudien. Per aquest motiu s'ha decidit escollir un coeficient de rugositat estàndard i uniforme per tots els anys. D'aquesta manera s'aconsegueix que no sigui un factor rellevant per les diferències que s'obtenen en els resultats.

Els coeficients de rugositats escollits són els mateixos que s'han utilitzat en altres treballs que han estudiat el comportament del riu Llobregat [12]. Pels trams 1, 2, 3 i 4 s'assigna un coeficient de rugositat de Manning de 0.030. Pel tram 5, que té un sediment molt més fi (veure Taula 7.2) s'assigna un valor de 0.02.

7.3 Resultats

Any normal (corba de cabals classificats)

Els resultats de la capacitat de transport de fons anual per tots els anys es mostren a continuació.

Taula 7.3: Capacitat de transport sòlid de fons anual ($\frac{m^3}{any}$)

	Capacitat de transport de fons [m3/any]				
	tram1	tram2	tram3	tram4	tram5
1946	5.550	12.850	9.551	11.970	12.670
1956	7.485	11.568	8.865	14.180	16.117
1965	7.486	16.188	9.800	14.094	16.346
1974	-	4.630	2.294	4.944	10.655
1981	-	5.255	1.808	3.690	10.540
2016	3.899	9.819	5.368	7.877	946

Els resultats de la taula anterior es podrien agrupar en 3 grups:

- Anys 1946, 1956 i 1965: tenen valors de transport anual similars. En tots els casos el tram que té més capacitat és el més pròxim al mar (tram 5)
- Anys 1974, 1981 i 2016 (excepte tram 5): tenen valors més baixos que els anys anteriors. En aquests anys ja s'havien fet transformacions a la llera i hi ha embassaments a la conca.

- Tram 5 any 2016: té una capacitat de transport de fons molt baix. A més a més és l'únic any que el tram 5 té menys capacitat de transport que els trams aigües amunt

Per poder visualitzar millor les diferències respecte l'any 1946, a la següent taula es mostren els percentatges de la capacitat de transport de cada any respecte el 1946.

Taula 7.4: Percentatge de capacitat de transport de fons de cada tram respecte l'any 1946

	Percentatge de transport de fons respecte 1946.				
	tram1	tram2	tram3	tram4	tram5
1946	100	100	100	100	100
1956	135	90	93	118	127
1965	135	126	103	118	129
1974	-	36	24	41	84
1981	-	41	19	31	83
2016	70	76	56	66	7

La capacitat de transport de sediments de la nova desembocadura del Llobregat (tram 5 any 2016) és deu vegades més petita que la que tenia la desembocadura l'any 1946.

Els valors dels anys 1974, 1981 i 2016 són inferiors en tots els trams als del 1946. Aquesta reducció però no es pot atribuir directament al canvis que han tingut les seccions transversals. En aquests anys ja hi ha embassaments a la conca, i com s'explica a l'apartat 6.2.1.2 l'efecte de regulació dels embassaments fa que els cabals alts del Llobregat siguin entre un 20 i un 30 % inferiors respecte al règim natural sense embassaments.

Per comprovar quin efecte té la regulació de cabals feta pels embassaments en la capacitat de transport de sediments, s'ha calculat la capacitat de transport dels anys 1974, 1981 i 2016 amb la corba de cabals classificada. La següent taula mostra l'efecte de la reducció de cabals en la capacitat de transport.

Taula 7.5: Relació entre la capacitat de transport sòlid del riu Llobregat amb embassaments i sense (percentatge).

	Sí embassaments/No embassaments (%)				
	tram1	tram2	tram3	tram4	tram5
1974	-	61	60	62	78
1981	-	61	60	60	78
2016	62	63	62	69	64

Aquesta taula mostra que la modificació del règim hidrològic que fan els embassaments de la conca provoca un descens significatiu de la capacitat de transport de fons. Una reducció de la magnitud dels cabals alts del riu d'entre un 20 i un 30 %, pot provocar un descens de la capacitat del transport sòlid de fons d'un 40 %.

Aquests valors s'assemblen bastant als de la Taula 7.4. Llavors el descens de la capacitat de transport de fons dels anys 1974, 1985 i 2016 respecte els anys anteriors és degut a la modificació dels cabals. Per tant, excepte pel cas especial de la nova desembocadura del Llobregat, els canvis de les seccions transversals que ha tingut el riu han afectat poc la capacitat de transport de sediments.

Avinguda extraordinària

Els valors obtinguts de la capacitat de transport de fons de l'avinguda del 25 de setembre del 1962 es mostren a continuació.

Taula 7.6: Capacitat de transport sòlid de fons de l'avinguda del 1962 m^3 .

	Capacitat de transport riuada 1962 [m3]				
	tram1	tram2	tram3	tram4	tram5
1946	10.670	13.691	13.199	7.119	2.375
1956	11.441	15.041	14.352	6.608	1.975
1965	13.397	14.965	14.927	6.430	2.084
1974	-	12.640	9.013	6.998	2.241
1981	-	13.544	7.101	6.947	2.270
2016	6.769	5.573	7.246	2.560	898

A la següent taula es fa la comparació entre la capacitat de transport de l'avinguda del 1962 (24 h de durada) respecte la capacitat de transport d'un any normal.

Taula 7.7: Percentatge de la capacitat de transport de l'avinguda del 1962 respecte un any normal.

	Percentatge entre transport 1962 i anual				
	tram1	tram2	tram3	tram4	tram5
1946	192	107	138	59	19
1956	153	130	162	47	12
1965	179	92	152	46	13
1974	-	273	393	142	21
1981	-	258	393	188	22
2016	174	57	135	32	95

Pels trams 1, 2 i 3 la riuada del 1962, de només 24 hores de durada té la capacitat de transportar més sediments (mitjançant transport sòlid de fons) que un any normal. En algun tram fins i tot el doble o el triple. Això demostra el poder que tenen les grans avingudes del Llobregat. L'enorme quantitat de sediments que poden transportar en molt poc temps són (o eren) capaces de provocar grans transformacions a la llera (progressió de meandres, obertura de nous braços, acumulacions de grans dipòsits de materials, etc.).

Un altre aspecte interessant de la taula anterior és que a prop de la desembocadura la capacitat de transport és molt menor. En canvi, anteriorment s'ha vist que en el transport d'un any normal era major. Això podria voler dir que les avingudes extraordinàries portarien per la Vall Baixa grans quantitats de sediments fins al tram del delta, i una part important d'aquest sediment sedimentaria al riu produint una acreció de la llera. En canvi en les crescudes del riu més petites passaria la situació contrària. El riu arribaria amb menys sediments al delta i seria capaç de transportar fins a la costa el sediment que les avingudes extraordinàries (menys freqüents) hi havien dipositat.

7.4 Reflexió sobre els resultats obtinguts

En l'apartat 6.1.1.2 s'ha demostrat que des de l'any 1946, tant l'amplada com la superfície al·luvial de la llera del Llobregat s'han reduït (el 2016 és d'un 20% respecte els valors del 1946). L'amplada al·luvial (B) afecta directament la capacitat de transport sòlid de fons ($Q_s = q_s \cdot B$), però en canvi els resultats no reflecteixen aquesta reducció en la capacitat de transport de fons del riu. El motiu que explica aquest fet és la transformació de les seccions transversals, ja que la capacitat de transport depèn de la hidrodinàmica.

Com s'explica en l'apartat 6.1.2, les seccions del riu han esdevingut progressivament més estretes i més profundes. Això provoca que per un mateix cabal el calat sigui superior. L'augment de calat provoca un augment de la tensió de fons. És aquest augment de la tensió de fons el que compensa la reducció de l'amplada al·luvial i fa que el transport sòlid es mantingui més o menys constant. A la Figura 7.2 es mostra la relació $\tau - Q$ en les 4 seccions diferents del tram 1 de la zona d'estudi.

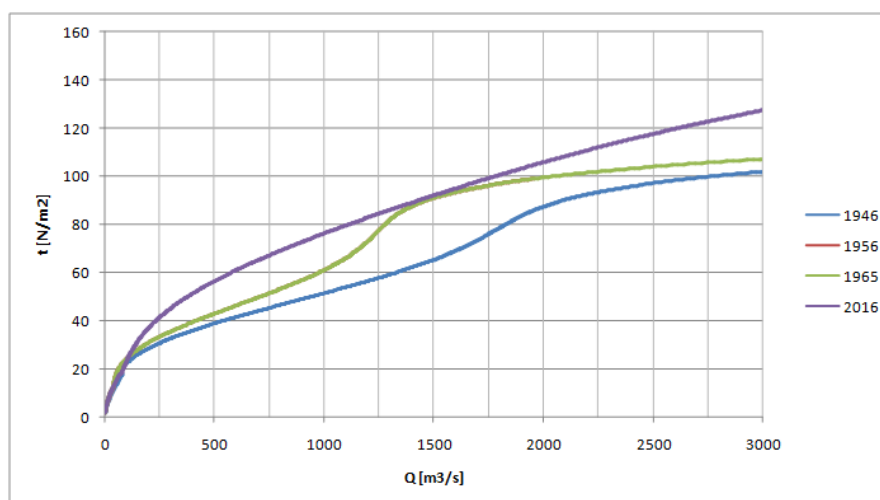


Figura 7.2: Relació tensió de fons - cabal per les diferents seccions transversals del Llobregat. Tram 1.

Per qualsevol cabal superior als $200\text{m}^3/\text{s}$ el valor de la tensió de fons de la secció de l'any 1946 és inferior a la tensió dels anys 1956, 1965 i 2016. El motiu és que la llera del 1946 és la més ampla (Figura 6.7) i la resta són més estretes. La corba de l'any 2016 està per sobre de tota la resta ja que té la secció més estreta de totes.

Que l'increment de tensió de fons compensi la reducció d'amplada al·luvial de la llera i faci que la capacitat de transport es mantingui força constant, no implica que el transport real de sediments també es mantingui constant. Si el riu manté la capacitat de transport però té menys disponibilitat de sòlids per transportar, el transport real s'ajusta a la reducció de disponibilitat i disminueix. Llavors el transport de sediments del riu fins al mar disminueix i la línia de la costa retrocedeix. Aquest argument és el que explicaria el retrocés de la línia de la costa al delta degut a la disminució de la quantitat de sediments aportada per riu.

Una altra conseqüència de que el Llobregat mantingui una capacitat alta de transport de sediments, però que la disponibilitat d'aquests sigui menor, és que es pot provocar un desequilibri longitudinal de la llera que generi incisió. Aquesta incisió ja s'ha manifestat durant la riuada del juny del 2000 [17].

Problema a la desembocadura del Llobregat

A la nova llera de la desembocadura del riu el problema és totalment oposat. La secció transversal és el doble d'ample que la que tenia el riu a l'antiga llera (veure Figura 6.11).

A la nova llera pels cabals alts la tensió de fons és molt menor que la que tenia el riu a la llera antiga.

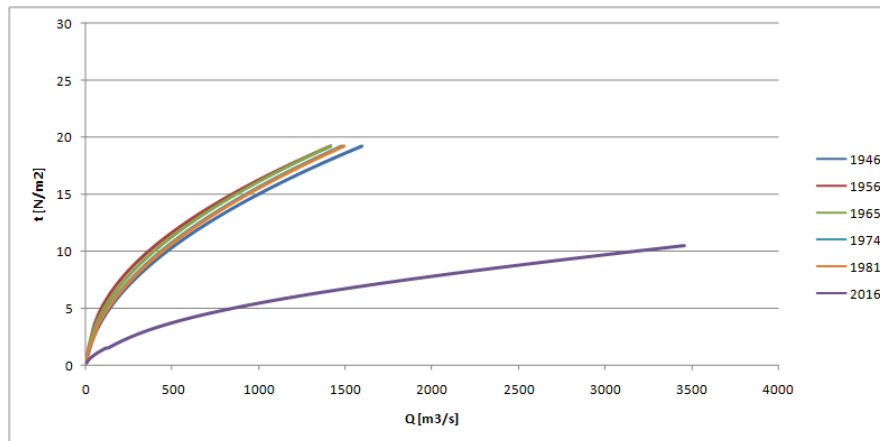


Figura 7.3: Relació tensió de fons - cabal per les diferents seccions transversals del Llobregat de Tram 5. Les línies finalitzen al punt on el cabal omple la secció i desborda.

Per un mateix cabal, actualment la tensió de fons és una tercera part que la dels anys anteriors. Això provoca que el riu és capaç de transportar fins al mar molt menys sediment que en el passat per culpa de la desproporcionada amplada de la llera. Molt sediment queda dipositat i es produeix una acreció de la llera. Aquest fet ja ha estat confirmat visualment i també realitzant noves topo-batimetries de la llera. Un estudi [9] de l'any 2009 calcula que només entre els anys 2005 i 2009 a la llera s'hi ha acumulat de mitjana 1 m de sediment i s'hi han dipositat $720000m^3$. Entre el 2005 i el 2009 no es va produir cap gran avinguda del Llobregat. Tot sembla indicar que la pròxima gran avinguda del Llobregat dipositarà a la nova llera enormes quantitats de sediment.

Capítol 8

Conclusions

La morfologia del riu Llobregat al seu curs baix (des de Martorell al mar) ha canviat molt al llarg de l'últim segle. Fins la dècada dels anys 50 del segle passat el riu estava molt poc alterat per les activitats humanes i tenia una llera molt ample, sinuosa i trenada. Transportava grans quantitats de graves i sorres riu avall que alimentaven de sediment les platges del delta.

A partir de llavors el riu ha anat canviant degut a diverses actuacions humanes. Primer va perdre amplada ja que es van ocupar parts de la seva llera per fer-hi nous conreus. Aquesta reducció d'amplada va provocar la disminució de la quantitat de dipòsits al·luvials i es va reduir el transport sòlid. El ràpid retrocés de la línia de la costa mesurat mitjançant de la comparació de l'imatge aèria del 1956 amb la del 1946 confirma aquest fet. Els grans canvis però van arribar més endavant. Primer amb la construcció de l'autopista al marge esquerre del riu que va obstruir la plana d'inundació, i per augmentar la capacitat hidràulica del riu es va excavar la llera. Entre finals del s.XX i inicis del s.XXI es va acabar de modificar la llera del riu amb la construcció de l'autovia i l'AVE al marge dret. A partir de llavors el riu és un canal trapezoïdal recte i profund. Utilitzant les imatges aèries dels anys 1946, 1956, 1965, 1974, 1981 i 2016 s'ha pogut comparar l'evolució del riu i l'impacte que han tingut les diferents infraestructures.

El treball s'ha centrat en l'estudi de l'evolució del transport sòlid del riu en diferents èpoques. Els anys escollits per fer la comparació coincideixen amb els anys de les imatges aèries històriques disponibles. D'aquesta manera es facilita l'obtenció d'informació en planta del riu.

També s'ha analitzat com han evolucionat certes variables que condicionen la morfo-dinàmica del riu:

- La superfície i l'amplada al·luvial de la llera no han parat de disminuir des del 1946. S'han pogut mesurar els canvis utilitzant les imatges aèries. L'any 2016, pel conjunt de la zona d'estudi, el Llobregat té de mitjana un 40% del material al·luvials que tenia l'any 1946.
- Les seccions transversals del riu han esdevingut més estretes i profundes degut a que el riu s'ha vist delimitat per infraestructures.
- Els embassaments que s'han construït a la conca modifiquen el règim de cabals. La regulació de cabals que fan els embassaments provoca que al curs baix del riu els cabals alts del Llobregat siguin entre un 20 i un 30% inferiors que els que tindria sense embassaments. Aigües amunt, a Castellbell i el Vilar la reducció és d'un 40%.
- La comparativa dels mapes de cobertes del sòl dels anys 1956 i 2009 mostra que pel global de la conca s'ha incrementat la superfície de boscos i zones urbanes i s'ha reduït l'extensió de conreus. Al curs baix del riu és destacable el fort augment de sòl urbà ja que passa de representar el 8% del total el 1956 al 37% el 2009. Aquests canvis provoquen conseqüències al curs baix del Llobregat pel que fa a la disponibilitat de sediments i al cabal del riu. Disminueix el subministrament de sediments que rep el riu i disminueix el cabal mitjà del riu (tot i que el cabal de les avingudes pugui incrementar-se degut a la major grau d'impermeabilització de la conca).

Per últim s'ha calculat l'evolució de la capacitat de transport de fons del riu en un any normal i en un episodi d'avinguda extraordinària. Les conclusions del càlcul del transport de fons són les següents:

- La capacitat de transport sòlid anual del Llobregat és similar al llarg dels diferents anys (excepte el cas de la nova desembocadura). Que la capacitat de transport sigui similar però no implica que el transport efectiu s'hagi mantingut també estable. El motiu que explica la reducció del transport efectiu és que la disponibilitat de material al·luvial ha disminuït molt. La conseqüència de que el riu Llobregat mantingui una capacitat de transport alta però que tingui molta menys disponibilitat de sediment susceptible de ser transportable és que s'ha produït, i es produirà,

una erosió general de la llera (per exemple l'avinguda del juny del 2000 que va provocar una erosió general d'un metre [17]).

- La capacitat de transport de sediments de la nova desembocadura del Llobregat és deu vegades més petita que la que tenia la desembocadura l'any 1946. Per tant, s'hi produeix acumulació de sediment i n'acaba arribant menys a la costa. Ja hi ha hagut treballs que han detectat aquesta acumulació de sediment.
- La regulació dels cabals feta pels embassaments provoca un descens de la capacitat del transport sòlid d'un any normal d'un 40 % respecte la situació sense embassaments.
- Una avinguda extraordinària com la del 1962 (de 24 hores de durada) té la capacitat de transportar un volum de sediments similar al d'un any normal.

Línies futures d'investigació

Havent realitzat aquest treball sorgeixen un seguit de temes que seria interessant seguir estudiant:

- Relacionar les dades de retrocés de la línia de la costa del delta amb la reducció de transport sòlid del Llobregat. A partir del retrocés de la línia de la costa del delta mesurat en les imatges aèries històriques, es podria calcular quin volum de sediment representa aquest retrocés. Aquest valor podria servir per estimar la disminució de transport sòlid real del riu respecte l'any 1946.
- Estudiar el problema de sedimentació de la nova desembocadura. S'ha demostrat en aquest treball que la nova llera del Llobregat a la desembocadura té problemes de sedimentació ja que la capacitat de transport sòlid del riu és molt menor que la de l'antiga llera. A partir de les dades de cabal i de terbolesa del Llobregat a l'estació de Sant Joan Despí, es podria crear un model que predigui la sedimentació de la llera. Aquest model es podria calibrar fent la comparació del volum calculat sedimentat entre els anys 2005 i 2009 pel model, amb els resultats de la batimetria feta a la llera l'any 2009.
- Seguir estudiant el canvi de règim hidrològic provocat pels embassaments. La corba de cabals classificats modificada que s'ha fet en aquest treball es podria anar actualitzant en el futur. Com més llarga sigui la sèrie de dades utilitzada més fiables seran els resultats.

Referències

- [1] ACA. «Informe d'estacions foronòmiques. PEF de les concques del Baix Llobregat i Anoia». A: (2015).
- [2] Borja Bouza Badenes. «Análisis de la estabilidad del cauce del ro Llobregat tras la construcción de la autova del Baix Llobregat». A: (2003).
- [3] Jaume Codina. *Inundacions al delta del Llobregat*. Vol. 147. Rafael Dalmau, 1971.
- [4] Jaume Codina i Agust Duran i Sanpere. *Delta del Llobregat: la Gent del fang (El Prat, 965-1965):(El Prat, 965-1965)*. Montblanc, 1966.
- [5] M Faura i Sans i Ferran Paladella. «Experiències sobre l'avancament del delta del Llobregat». A: (1934).
- [6] Carles Ferrer-Boix. «Incisión de ros por extracción aluvial y retirada de presas. Estudio matemático y experimental». Tesi doct. Tesis doctoral, Dpto. de Ingeniera Hidráulica, Martima y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- [7] Joan Llus Ferret. «Formació del Delta del Llobregat». A: *Actes de les VI Jornades del Patrimoni del Baix Llobregat* (2012).
- [8] Carles Guirado González i Antoni F Tulla i Pujol. «Entre labandonament i lús intensiu del territori? Sistema dassentaments i gestió del territori en espais de muntanya. El cas de l'Alt Pirineu català». A: *Documents d'anàlisi geogràfica* 56.3 (2010), pàg. 607-623.
- [9] LitoralConsult. «Batimetria i caracteritzat ambiental del tram final del riu Llobregat (t.m del Prat de Llobregat)». A: (2009).
- [10] Roger Lloret. «Antecedents i problemàtica de les extraccions d'àrids a l'eix del Baix Llobregat». A: (2003).
- [11] Roger Lloret. «Antecedents i problemàtica de les extraccions d'àrids a l'eix del Baix Llobregat». A: (2010).

-
- [12] JP Martn Vide. *colaboradores. Estudio de los niveles de avenida del ro Llobregat entre Martorell y Sant Boi por efecto de la autova del Baix Llobregat*. 1993.
- [13] JP Martn-Vide i A Andreatta. «Channel degradation and slope adjustment in steep streams controlled through bed sills». A: *Earth Surface Processes and Landforms* 34.1 (2009), pàg. 38-47.
- [14] JP Martn-Vide i MC Llasat. «The 1962 Flash flood in the rub stream (barcelona, spain)». A: *Journal of Hydrology* (2018).
- [15] Alba Pallarès Giral. «Efectes de l'alliberament de cabal generador a preses de Catalunya». B.S. thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [16] Jaume Sans Margenet i Josep M Panareda Clopés. *Els paisatges de l'aigua al delta del Llobregat*. IEC, 2016.
- [17] Juan Pedro Martn Vide. «Análisis de la estabilidad del tramo del río Llobregat encauzado por la Autovia del Baix Llobregat». A: (2003).
- [18] Juan Pedro Martn Vide. *Ingeniera de ros*. Vol. 9. Univ. Politèc. de Catalunya, 2007.
- [19] Juan Pedro Martn Vide i Carles Ferrer-Boix. «Estudi sobre la dinàmica fluvial del riu Llobregat entre la confluència amb la riera de Rubí i Sant Boi». A: (2011).
- [20] Miguel Wong i Gary Parker. «Reanalysis and correction of bed-load relation of Meyer-Peter and Müller using their own database». A: *Journal of Hydraulic Engineering* 132.11 (2006), pàg. 1159-1168.
- [21] Javier Zabalza-Martnez, Sergio Vicente-Serrano, Juan Ignacio López-Moreno, Gabriel Borràs-Calvo, Diana Pascual, Eduard Pla, Fernando Domnguez-Castro i Christina L Tague. «Effects of climate and land-use change scenarios on surface runoff in highly managed basins of northeastern Spain». A: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. Vol. 20. 2018, pàg. 6538.

1946

1956

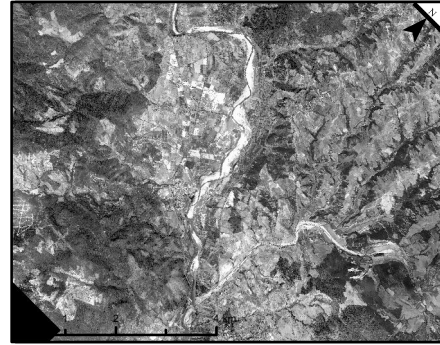
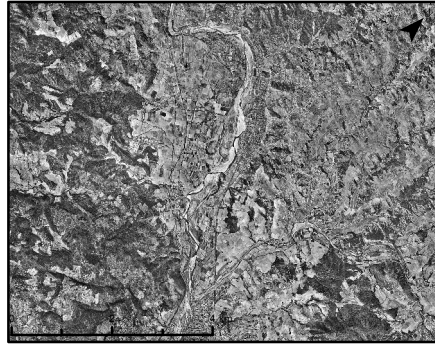
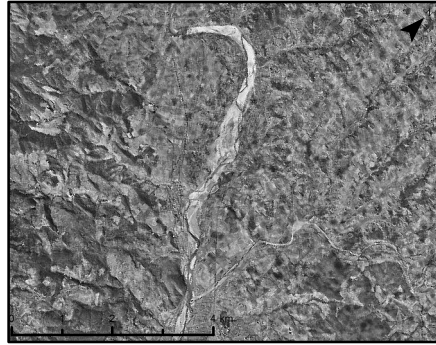
1965

1974

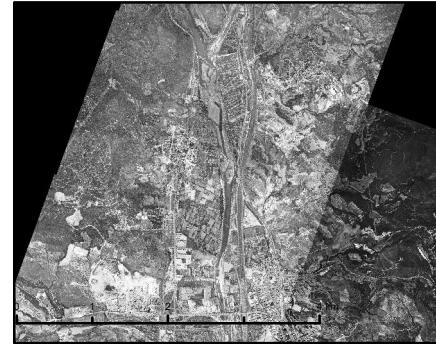
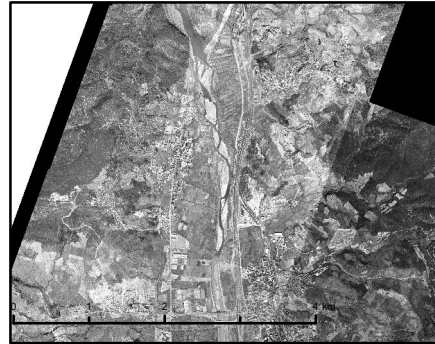
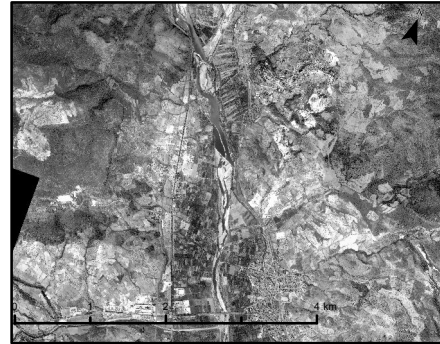
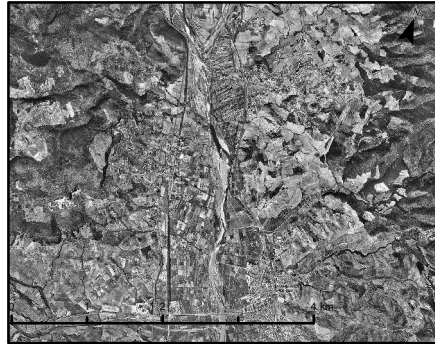
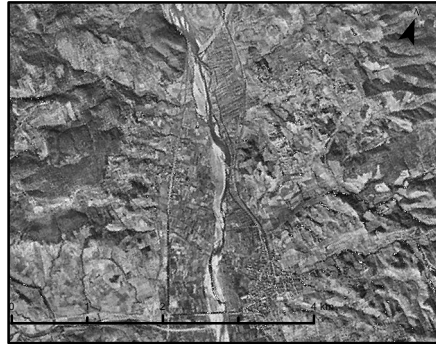
1981

2016

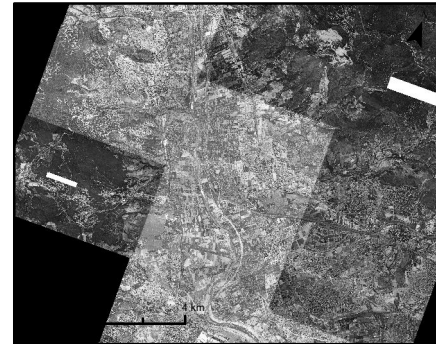
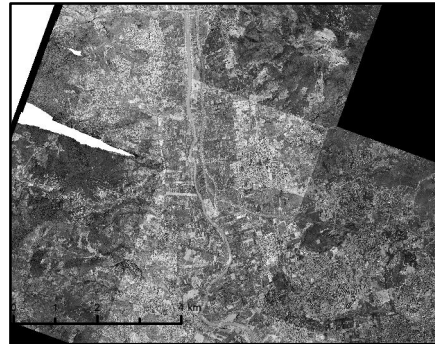
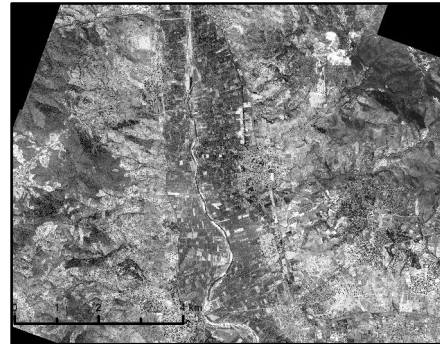
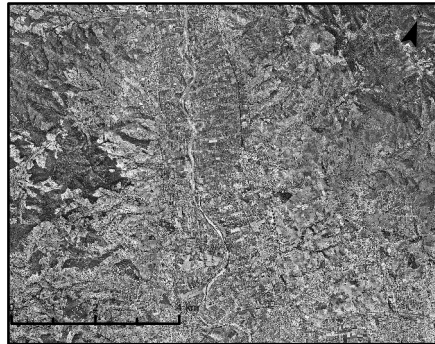
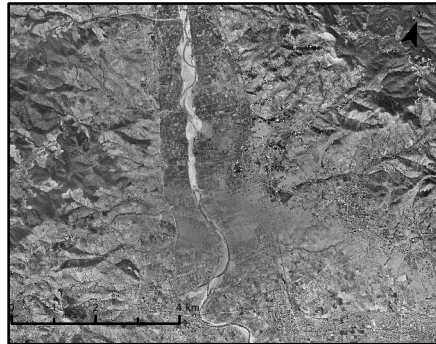
TRAM 1



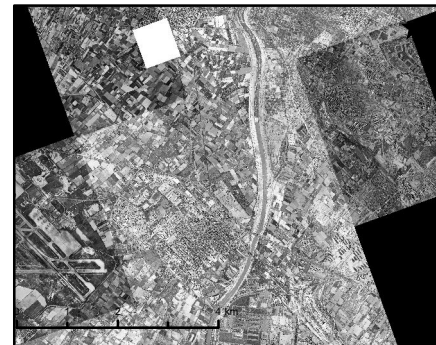
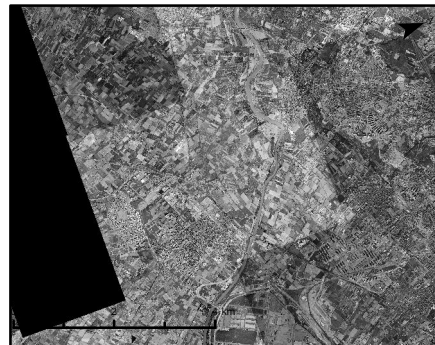
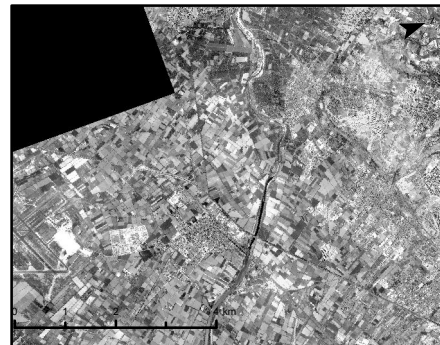
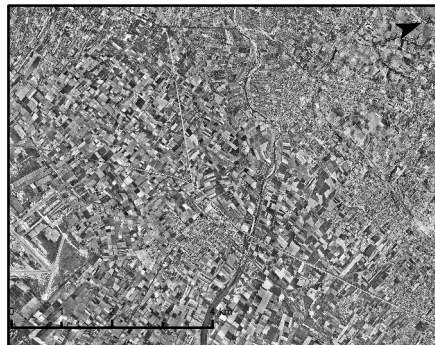
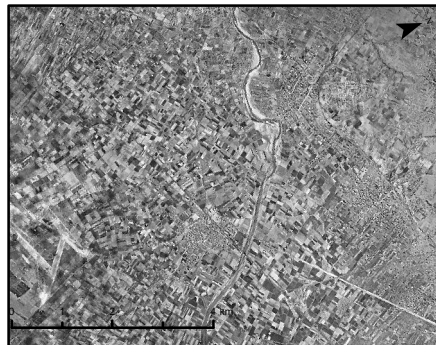
TRAM 2



TRAM 3



TRAM 4



TRAM 5

